



UNIVERSITAS INDONESIA

**SEBARAN POTENSI DEPOSIT EMAS EPITERMAL
DI CIBALIUNG, PANDEGLANG-BANTEN**

SKRIPSI

SESA WIGUNA

0806328732

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

DEPARTEMEN GEOGRAFI

DEPOK

JULI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**SEBARAN POTENSI DEPOSIT EMAS EPITERMAL
DI CIBALIUNG, PANDEGLANG-BANTEN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

SESA WIGUNA

0806328732

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

DEPARTEMEN GEOGRAFI

DEPOK

JULI 2012

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya lakukan dengan benar.**

Nama : Sesa Wiguna

NPM : 0806328732

Tanda Tangan : 

Tanggal : 16 Juni 2012



Universitas Indonesia

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Sesa Wiguna
 NPM : 0806328732
 Program Studi : Geografi
 Judul Skripsi : Sebaran Potensi Deposit Emas Epitermal di Cibaliung,
 Pandeglang-Banten

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang	: Dr.rer.nat Eko Kusratmoko, M.S.	()
Pembimbing I	: Dr. Rokhmatuloh, M.Eng	()
Pembimbing II	: Drs. Supriatna, M.T.	()
Pembimbing III	: Yosef Prihanto, S.Si, M.Si.	()
Penguji I	: Dra. Astrid Damayanti, M.Si.	()
Penguji II	: Drs. Tjong Giok Pin, M.Si, M.Kom.	()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 02 Juli 2012

Universitas Indonesia

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang dengan segala hikmahnya telah merencanakan penulis menyelesaikan skripsi ini. Shalawat dan salam semoga selalu dilimpahkan kepada Rasulullah SAW. Dengan segala kekurangannya saya berharap skripsi ini menambah khazanah ilmu pengetahuan di Geografi UI khususnya dan di Indonesia pada umumnya. Saya sadari bahwa skripsi ini terselesaikan atas dasar bimbingan, dukungan dan doa dari berbagai pihak. Oleh karenanya pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dr. Rokhmatuloh, M. Eng, Drs. Supriatna, M.T. dan Yosef Prihanto, S.Si., M.Si. selaku pembimbing yang selalu menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk menyusun skripsi ini;
2. Dra. Astrid Damayanti, M. Si. dan Drs. Tjiong Giok Pin, M.Si., M.Kom. selaku penguji yang senantiasa memberi masukan untuk perbaikan skripsi ini;
3. Pihak PT. Antam Unit Geomin, PT. Cibaliung Sumberdaya dan Bakosurtanal yang telah memberikan dukungan data dan ijin penelitian;
4. Dr.rer.nat Eko Kusratmoko, MS, sebagai Ketua Departemen Geografi, para dosen yang tanpa pernah jenuh memberikan didikan dan pendidikan serta seluruh karyawan departemen yang turut mempermudah administrasi dan perizinan;
5. Ibu, Bapak, Kakek dan Nenek yang tak ternilai jasa-jasanya
6. Dra. Titiek Suparwati yang selalu memberi semangat kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi;
7. Bapak Andi Kurniawan dan Crew di Antam Geomin;
8. Bapak Urip Ahmad Subekti, Bapak Bambang Trisetyo, Bapak Fauzi, dan seluruh *Crew* di Departemen Kendali Mutu PT. CSD;

Depok, 08 Juli 2012

Penulis

Universitas Indonesia

v

LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI

KARYA ILMIAH

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Sesa Wiguna
NPM : 0806328732
Departemen : Geografi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalty Noneksklusif (*Non-exclusif Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul: **Sebaran Potensi Deposit Emas Epitermal di Cibaliung, Pandeglang-Banten** beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Depok

Pada tanggal: 16 Juni 2012

Yang menyatakan



(Sesa Wiguna)

Universitas Indonesia

ABSTRAK

Nama : Sesa Wiguna
Program Studi : Geografi
Judul :Sebaran Potensi Deposit Emas Epitermal di Cibaliung,
Pandeglang-Banten

Emas merupakan logam penting yang banyak dicari masyarakat. Emas digunakan sebagai perhiasan dan instrument investasi. Eksplorasi emas saat ini banyak dilakukan dengan metode pemetaan geologi, parit uji, geokimia tanah/endapan sungai yang membutuhkan waktu panjang serta biaya yang besar dan sulit untuk dilakukan pada wilayah yang luas. Penelitian ini menggunakan aplikasi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis untuk memetakan sebaran potensi deposit emas epitermal di Cibaliung, Pandeglang-Banten dengan studi kasus pada Kuasa Pertambangan (KP) Eksploitasi PT. Cibaliung Sumberdaya (CSD) dan KP. Eksploitasi PT Antam. Pada penelitian ini digunakan metode *Directed Principal Component Analysis* untuk memetakan zona alterasi dan *Weights of Evidence* untuk melihat asosiasi spasial antara emas epitermal dengan litologi dan struktur geologi (patahan). Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1) Ketiga kelas potensi deposit emas epitermal berada di dalam dan luar KP Eksploitasi. Di luar KP. Eksploitasi, ketiga kelas potensi berada di sebelah selatan dan timur KP ini. (2) Emas epitermal memiliki asosiasi dengan jenis litologi tuff kristal-ash, tuff litik, andesit porfiritik dan basalt serta pada jarak 0-400 meter dari patahan.

Kata kunci:

Directed Principal Component Analysis, Emas Epitermal, *Weights of Evidence*, Zona Alterasi

ABSTRACT

Name : Sesa Wiguna
Study Program: Geography
Title : Potential Distribution of Epithermal Gold Deposit in Cibaliung,
Pandeglang-Banten

Gold is an essential metal that much sought after community. Gold is used as jewelry and investment instruments. Currently gold exploration is mostly done by the method of geological mapping, trenches testing and geochemical soil/stream sediment sampling that takes a long and costly and difficult to isolate in a wide area. This study uses the application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to map the potential distribution of epithermal gold deposit in Cibaliung, Pandeglang-Banten with a case study on the Mining Concession Exploitation of PT. Cibaliung Sumberdaya (CSD) and the Mining Concession Exploration of PT Antam. Directed Principal Component Analysis is used to map alteration zones and the Weights of Evidence to calculate the spatial association between epithermal gold with lithology and geological structures (faults). The results showed that: (1) The three classes of potential epithermal gold deposit located at inside and outside of Mining Concession Exploitation. Outside Mining Concession Exploitation potential of those classes are in the south and east of this Mining Concession, (2) Epithermal Gold has an association with the type of crystal-ash tuff lithology, lytic tuff, porphyritic andesite and basalt, and at a distance of 0-400 meters from the fault.

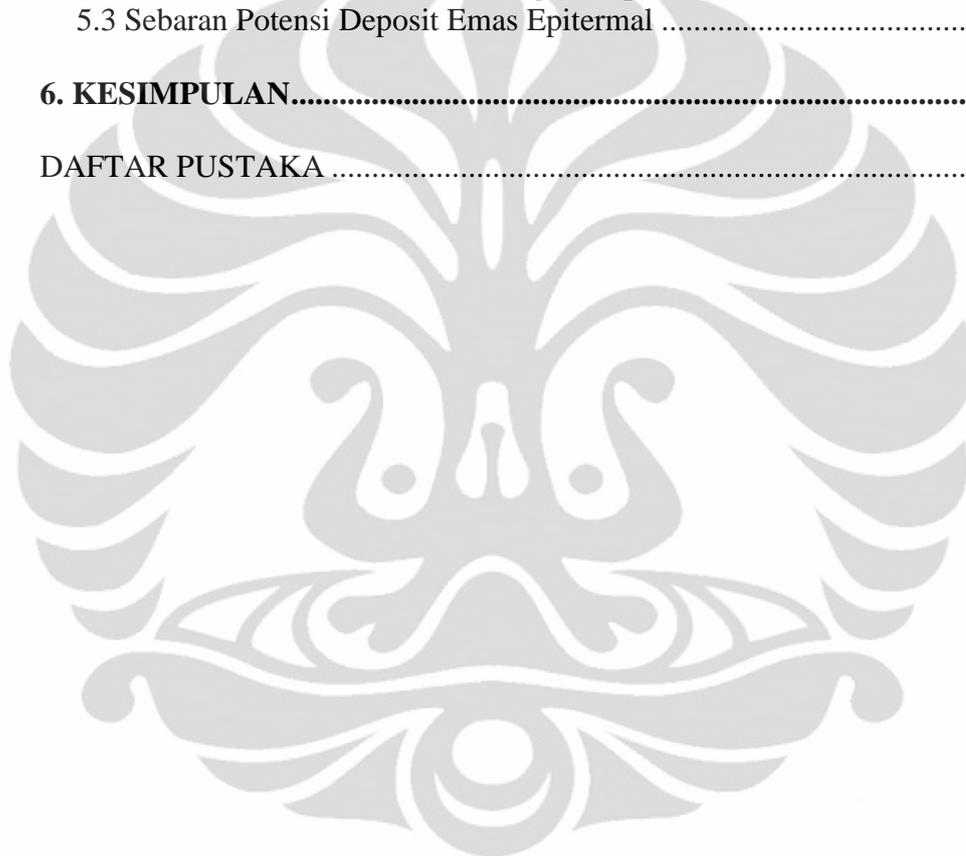
Key words:

Alteration zone, Directed Principal Component Analysis, epithermal gold, Weights of Evidence

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR PETA.....	xii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Penelitian.....	3
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Emas	5
2.2 Konsepsi Mineralisasi Emas.....	5
2.2.1 Alterasi Hidrotermal dan Mineralisasi	5
2.2.2 Mineralisasi Emas Epitermal	10
2.2.3 Kontrol Struktur dan Litologi.....	11
2.3 Mineralisasi di Cibaliung.....	12
2.4 Penginderaan Jauh (PJ).....	13
2.4.1 ASTER	14
2.4.2 <i>Directed Principal Component Analysis</i>	16
2.5 Sistem Informasi Geografis	17
2.6 <i>Weigth of Evidence</i>	20
2.7 Penelitian Terdahulu.....	23
3. METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Metode Pendekatan.....	26
3.2 Variabel Penelitian	27
3.3 Sumber Data	27
3.4 Pengolahan Data	28
3.4.1 Pengolahan Citra	28
3.4.2 Pengolahan Data Vektor	30
3.5 Analisis Data.....	31
3.6. Pemetaan Potensi Deposit Emas Epitermal.....	32
3.7 Alur Kerja Penelitian	33
4. GAMBARAN UMUM DAERAH PENELITIAN	35
4.1 Daerah Penelitian.....	35
4.2. Geomorfologi.....	36
4.3. Kondisi Geologi.....	39

4.3.1 Litologi	40
4.3.2 Stuktur Geologi	42
5. HASIL DAN PEMBAHASAN	46
5.1 Sebaran Zona Alterasi	46
5.1.1 Sebaran Alterasi Propilitik	46
5.1.2 Sebaran Alterasi Argilik.....	51
5.2 Asosiasi Emas Epitermal	55
5.2.1 Asosiasi antara Litologi dengan Deposit Emas.....	55
5.2.2 Asosiasi antara Stuktur Geologi dengan Deposit Emas.....	58
5.2.3 Asosiasi Zona Alterasi dengan Deposit Emas	61
5.3 Sebaran Potensi Deposit Emas Epitermal	64
6. KESIMPULAN.....	70
DAFTAR PUSTAKA	71



DAFTAR GAMBAR

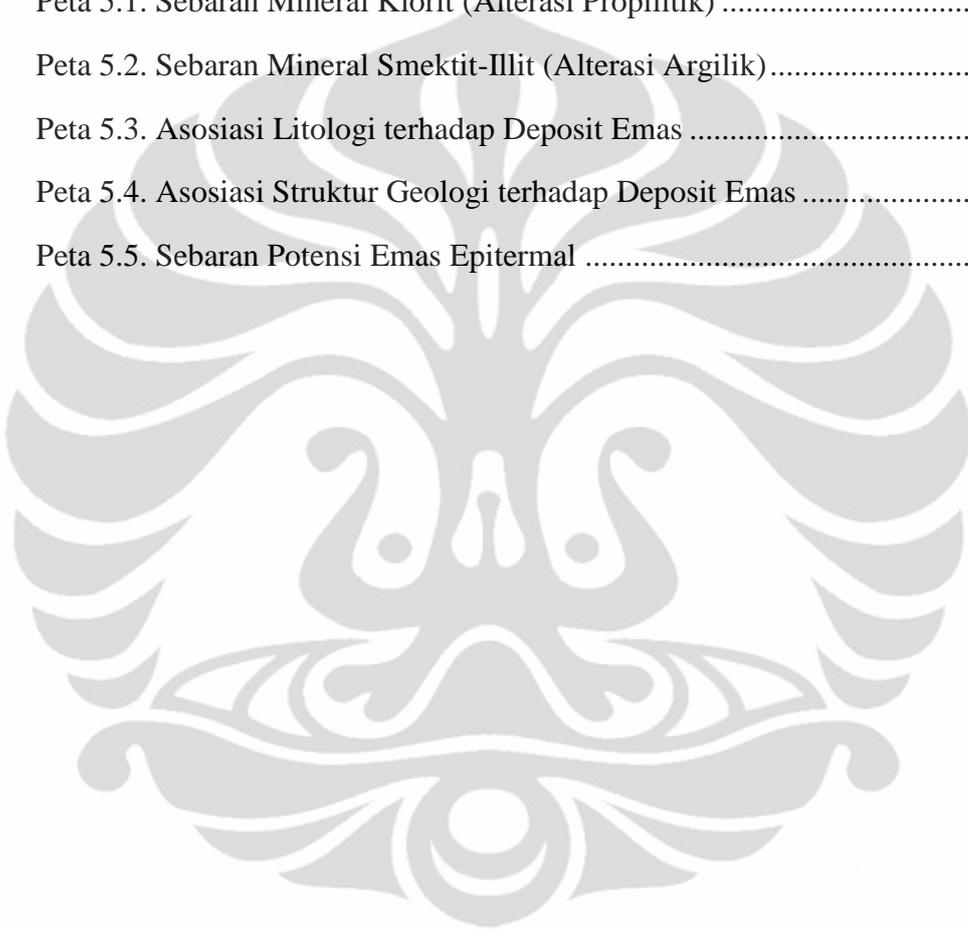
Gambar 2.1 a. Reflektansi Mineral Klorit.....	18
Gambar 2.1 b. Reflektansi Mineral Smektit-Illit	18
Gambar 2.1c. Reflektansi Vegetasi	18
Gambar 3.1 Alur Pikir Penelitian.....	26
Gambar 3.2. Alur Kerja Penelitian.....	33
Gambar 4.1. Morfologi Daerah Kajian	39
Gambar 4.2. Zona <i>Magmatic Arc</i> di Indonesia	40
Gambar 4.3. Pola Umum Kelurusan Struktur di Jawa Barat	43
Gambar 5.1. Hasil Olah Citra ASTER untuk Mendapatkan Sebaran Mineral Klorit	48
Gambar 5.2. Hasil Olah Citra ASTER untuk Mendapatkan Sebaran Mineral Smektit-Illit	52
Gambar 5.3. Skema Geologi <i>Section</i>	60
Gambar 5.4. Nilai Asosiasi Mineral Permukaan dengan Deposit Emas.....	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tipe-tipe Alterasi berdasarkan Himpunan Mineral	7
Tabel 2.2. Ciri-ciri Endapan Epitermal Sulfidasi Rendah dan Sulfidasi Tinggi	9
Tabel 2.3. Karakteristik Spektral Citra ASTER.....	15
Tabel 3.1. Input Band Ratio Citra ASTER untuk DPC.....	30
Tabel 5.1. <i>Directed Principal Component Analisis</i> dari <i>Band Ratio</i> Citra ASTER untuk Sebaran Mineral Klorit	47
Tabel 5.2. Tingkat Akurasi Sebaran Mineral Klorit melalui Metode DPCA.....	49
Tabel 5.3. <i>Directed Principal Component Analysis</i> dari <i>Band Ratio</i> Citra ASTER untuk Sebaran Mineral Smektit-Illit.....	53
Tabel 5.4. Tingkat Akurasi Sebaran Mineral Smektit-Illit melalui Metode DPCA	53
Tabel 5.5. Asosiasi antara Litologi dengan Deposit Emas.....	56
Tabel 5.6. Asosiasi antara Struktur Geologi dengan Deposit Emas	59
Tabel 5.7. Asosiasi antara Mineral Klorit (Alterasi Propilitik) dengan Deposit Emas.....	61
Tabel 5.8. Asosiasi antara Mineral Smektit-Illit (Alterasi Argilik) dengan Deposit Emas.....	63
Tabel 5.9. Matriks Wilayah Potensi Emas Epitermal	61
Tabel 5.10. Akurasi Model Wilayah Potensi	64
Tabel 5.11. Luas Wilayah Potensi Deposit Emas Menurut Desa	64
Tabel 5.12. Luas Wilayah Potensi Deposit Emas Menurut KP	64

DAFTAR PETA

Peta 4.1. Peta Daerah Penelitian	36
Peta 4.2. Geomorfologi Daerah Penelitian.....	38
Peta 4.3. Geologi Detail Cibaliung	45
Peta 5.1. Sebaran Mineral Klorit (Alterasi Propilitik)	49
Peta 5.2. Sebaran Mineral Smektit-Illit (Alterasi Argilik).....	54
Peta 5.3. Asosiasi Litologi terhadap Deposit Emas	57
Peta 5.4. Asosiasi Struktur Geologi terhadap Deposit Emas	62
Peta 5.5. Sebaran Potensi Emas Epitermal	63



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Emas merupakan logam penting yang banyak dicari manusia. Di abad ke-16, pada saat masa merkantilisme berkembang, emas menjadi perlambangan kesejahteraan suatu negara. Saat itu kesejahteraan suatu negara ditentukan oleh banyaknya aset dan simpanan (mineral berharga terutama emas) yang dimiliki negara bersangkutan. Pencarian aset inilah yang menjadi salah satu faktor penyebab timbulnya peperangan di antara negara Eropa dan mendorong mereka berlayar ke seluruh penjuru dunia untuk mencari emas sebanyak-banyaknya (Amalia, 2010).

Di masa sekarang, emas tetap menjadi salah satu logam mulia yang paling banyak dicari dan digemari masyarakat. Selain banyak digunakan sebagai perhiasan bagi kaum wanita, emas juga merupakan instrumen investasi yang berperan sebagai pelindung nilai aset yang dimiliki dari pengaruh inflasi. Adapun kelebihan emas sebagai instrumen investasi dibandingkan dengan instrumen lain adalah: emas adalah uang sepanjang jaman, daya beli emas stabil, harga emas selalu ditentukan pasar dan emas mudah disimpan dan mudah dijual (Diantoro, 2010).

Eksplorasi emas saat ini banyak dilakukan dengan metode pemetaan geologi, parit uji, geokimia tanah/endapan sungai yang dimaksudkan untuk mengetahui kondisi geologi lokal, melokalisir penyebaran dan menafsirkan model/tipe pembentukan emas di wilayah bersangkutan (Tampubolon, 2006). Salah satu tantangan terbesar dari kegiatan tersebut adalah pada tahap pemetaan lapangan, yang membutuhkan waktu panjang serta biaya yang besar, terutama untuk daerah-daerah baru yang relatif belum terjamah, sehingga seringkali sulit untuk dilakukan pada wilayah yang luas.

Dalam rangka efisiensi waktu dan biaya dalam eksplorasi mineral, saat ini digunakanlah aplikasi Penginderaan Jauh (PJ)/*Remote Sensing* dan Sistem Informasi Geografis (SIG)/*Geographical Information System (GIS)*. Beberapa

penelitian yang menggunakan aplikasi PJ dan SIG dalam eksplorasi mineral diantaranya adalah Carranza dan Hale (2000) yang memetakan potensi emas di Distrik Baguio-Filipina, Rojas (2003) untuk eksplorasi sulfida masif di Kuba, dan Hilman (2007) untuk pemetaan potensi mineral emas epitermal di Flores, Indonesia.

Teknologi PJ memungkinkan untuk eksplorasi mineral dalam cakupan wilayah yang luas bahkan untuk daerah yang belum terjamah sekalipun dengan presisi dan akurasi yang semakin baik seiring dengan kemajuan teknologi melalui peningkatan resolusi spasial dan spektralnya. Pada dasarnya citra satelit PJ tidak bisa secara langsung mengenali suatu deposit mineral karena kekurangannya dalam hal kedalaman penetrasi. Walau begitu, keberadaan suatu potensi sebaran mineral dikontrol kondisi geografis setempat seperti kondisi geologi, zona alterasi, asosiasi batuan, struktur geologi, kelurusan, bentukan oksidasi, morfologi, pola aliran sungai dan anomali vegetasi (Rajesh, 2004). Oleh karenanya keberadaan suatu potensi mineral dapat dikenali melalui pendekatan terhadap faktor-faktor pengontrolnya yang notabene dapat dikenali melalui citra satelit.

Eksplorasi mineral yang memerlukan berbagai variabel spasial seperti geologi, struktur, geokimia, geobotani perlu diintegrasikan untuk analisis data sehingga dihasilkan wilayah yang memiliki prospek mineral. Melalui SIG inilah semua data spasial bisa diintegrasikan sehingga kemudian bisa dianalisis lebih lanjut. Hal ini sesuai dengan pendapat Parington (2000) yang mengatakan bahwa SIG merupakan alat yang sempurna untuk integrasi data spasial.

Pada penelitian ini digunakan kombinasi teknologi PJ dan SIG dalam memetakan potensi sebaran emas epitermal di daerah Cibaliung-Banten. Cibaliung disebut-sebut sebagai cadangan emas Banten setelah kandungan emas di kawasan pertambangan Cikotok dinyatakan telah habis. Saat ini di daerah kajian telah beroperasi tambang emas milik anak perusahaan PT. Antam, yaitu PT. Cibaliung Sumberdaya (PT. CSD) yang menjadi salah satu bukti bahwa daerah selatan Jawa ini memiliki potensi emas yang ekonomis. Selain itu, dijumpainya Penambang Emas Tanpa Ijin atau PETI (Juliawan, Nixon, Widhiyatna dan Jatim, 2005) di

daerah ini adalah indikator kuat bahwa wilayah ini masih perlu dilakukan eksplorasi agar potensi emas di daerah Cibaliung dapat dipetakan lebih baik lagi.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, beberapa masalah yang dirumuskan terkait kegiatan penelitian ini adalah:

1. Bagaimana sebaran potensi deposit emas epitermal di Cibaliung berdasarkan pengolahan citra satelit, litologi dan struktur geologi?
2. Bagaimana asosiasi antara litologi dan struktur geologi terhadap deposit emas epitermal di Cibaliung?

1.3 Tujuan Penelitian

Untuk menjawab permasalahan dalam penelitian ini maka ditentukan tujuan dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Memetakan sebaran potensi deposit emas epitermal di Cibaliung, Pandeglang-Banten
2. Mengetahui keterkaitan deposit emas dengan kondisi geologi (struktur geologi dan litologi)

1.4 Batasan Penelitian

- 1) Emas epitermal adalah emas yang terbentuk pada lingkungan hidrotermal dekat permukaan, mempunyai temperatur dan tekanan yang relatif rendah berasosiasi dengan kegiatan magmatisme kalk-alkali yang sering kali (tidak selalu) endapannya dijumpai di dalam produk vulkanik (sedimen vulkanik).
- 2) Cibaliung dalam penelitian ini adalah Cibaliung Project PT. Antam. Yaitu areal yang meliputi Kuasa Pertambangan (KP) Eksplorasi PT. Antam dan KP. Eksploitasi PT. Cibaliung Sumberdaya (PT. CSD) di Kecamatan Cibaliung dan Cimanggu dengan luas 7.814,48 Ha (berdasarkan perhitungan software ArcGIS).

- 3) Pengolahan citra satelit dalam penelitian ini adalah teknik penajaman citra dengan metode *Directed Principal Component Analysis* (DPCA) atau *Software Defoliant Technique*.
- 4) Litologi adalah pengklasifikasian batuan didasarkan pada sifat-sifat fisiknya.
- 5) Struktur geologi yang dimaksud dalam penelitian ini adalah struktur geologi yang berupa patahan.
- 6) Asosiasi merupakan hubungan saling keterkaitan atau ketergantungan suatu objek dengan objek lainnya. Dalam penelitian ini, asosiasi ditunjukkan oleh hasil perhitungan melalui metode *Weights of Evidence*.
- 7) Potensi yang dimaksud dalam penelitian ini adalah areal yang kondisi geologinya (struktur geologi dan litologi) berasosiasi positif dengan deposit emas serta memiliki sebaran mineral permukaan. Faktor-faktor yang berkaitan dengan nilai ekonomis mengenai keberadaan deposit emas tidak menjadi variabel dalam penentuan potensi dalam penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Emas

Emas adalah logam berat dengan warna kuning yang khas. Dalam bentuk bubuk warnanya coklat kemerahan. Dalam bidang kimia, emas dikenal dengan simbol Au (Bahasa Latin: ‘Aurum’) dengan nomor atom 79 dalam tabel periodik. Emas merupakan sebuah logam transisi yang lembek, mengkilap, kuning, berat, *malleable*, dan *ductile*, logam ini banyak terdapat di *nugget* emas atau serbuk di bebatuan dan di deposit aluvial dan salah satu logam *coinage* (Sukandarrumudi, 2007).

Emas memiliki tingkat kekerasan antara 2,5-3 skala Mosh yang masih tergolong lunak dan bersifat lunak dan mudah ditempa. Berat jenis emas tergantung pada jenis dan kandungan logam lain yang berpadu dengannya. Mineral pembawa emas biasanya berasosiasi dengan mineral ikutan (*gangue minerals*). Pada umumnya, mineral ikutan tersebut berupa kuarsa, karbonat, turmalin, flourpar, dan sejumlah kecil mineral non-logam. Mineral pembawa emas juga berasosiasi dengan endapan sulfida yang telah teroksidasi. Mineral pembawa emas terdiri atas emas natif, *electrum*, emas telurida, sejumlah paduan dan senyawa emas dengan unsur-unsur belerang, *antimony*, dan selenium (Sukandarrumudi, 2007).

2.2 Konsepsi Mineralisasi Emas

2.2.1 Alterasi Hidrotermal dan Mineralisasi

Alterasi hidrotermal merupakan gejala umum dari proses mineralisasi yang dapat digunakan untuk menentukan atau melokalisir daerah mineralisasi. Proses ini bisa saja mengakibatkan perubahan warna. Warna bisa menjadi bertambah terang atau memudar, Hal ini disebabkan oleh melimpahnya mineral berwarna terang seperti lempung, alunit, kuarsa dan karbonat, dan bisa juga bertambah gelap (oksidasi) akibat banyaknya oksidasi pirit seperti limonit dan hematit. Selain itu, tipe alterasi tertentu dicirikan dengan hadirnya suatu himpunan mineral yang khas sebagai pencirinya (Muslim, 2008).

a. Alterasi Hidrotermal

Alterasi hidrotermal merupakan proses yang kompleks karena melibatkan perubahan mineralogi, kimiawi dan tekstur yang kesemuanya adalah hasil dari interaksi larutan hidrotermal dengan batuan yang dilaluinya. Perubahan tersebut tergantung pada karakteristik batuan sampling, sifat larutan, kondisi tekanan dan temperatur pada saat reaksi berlangsung, konsentrasi dan lama aktivitas hidrotermal. Faktor-faktor tersebut saling terkait, tetapi dalam alterasi hidrotermal pada sistem epitermal kelulusan batuan, temperatur dan kimia larutan memegang peranan penting (Corbett dan Leach, 1997).

Larutan hidrotermal yang merupakan cairan bertemperatur tinggi (100-500°C) sisa pendinginan magma yang mampu mengubah mineral yang telah ada sebelumnya dan membentuk mineral-mineral tertentu. Secara umum cairan sisa kristalisasi magma tersebut bersifat silika yang kaya alumina, alkali dan alkali tanah yang mengandung air dan unsur-unsur volatil (Bateman, 1981). Larutan hidrotermal terbentuk pada bagian akhir dari siklus pembekuan magma dan umumnya terakumulasi pada litologi dengan permeabilitas tinggi atau pada zona lemah. Interaksi antara larutan hidrotermal dengan batuan yang dilaluinya (*wall rocks*) akan menyebabkan terubahnya mineral primer menjadi mineral sekunder (*alteration minerals*).

Pada kondisi tertentu, proses hidrotermal akan menghasilkan kumpulan mineral tertentu yang dikenal sebagai himpunan mineral atau *mineral assemblage* (Guilbert dan Park, 1986). Kehadiran himpunan mineral tertentu dalam suatu ubahan batuan akan mencerminkan tipe alterasi tertentu pula. Guilbert dan Park (1986) membuat tipe-tipe alterasi berdasarkan himpunan mineral, yang ditampilkan dalam Tabel 2.1.

Endapan Epitermal

Endapan epitermal adalah endapan yang terbentuk di lingkungan hidrotermal dekat permukaan, mempunyai temperatur dan tekanan yang relatif rendah berasosiasi dengan kegiatan magmatisme kalk-alkali yang sering kali (tidak selalu) endapannya dijumpai di dalam produk vulkanik (sedimen vulkanik).

Tabel 2.1. Tipe-tipe Alterasi berdasarkan Himpunan Mineral

Tipe	Mineral Kunci	Mineral Asesoris	Keterangan
Propilitik	Klorit Epidot Karbonat	Albit Kuarsa Kalsit Pirit Lempung/illit Oksida Besi	Temperatur 200-300° C, Salinitas beragam, PH mendekati netral, Daerah dengan permeabilitas rendah
Argilik	Smektit Montmorilonit Illite-smektit Kaolinit	Pirit Klorit Kalsit Kuarsa	Temperatur 100-300° C, Salinitas rendah, PH asam-netral
Argilik lanjut (temperatur rendah)	Kaolinit Alunit	Kalsedon Kristobalit Kuarsa Pirit	Temperatur 180° C, PH asam
Argilik lanjut (temperatur tinggi)	Pirofilit Diaspor Andalusit	Kuarsa Tourmalin Enargit Luzonit	Temperatur 250-350° C, PH asam-netral
Potasik	Kuarsa Serisit Pirit	Klorit Epidot Pirit Illit-serisit	Temperatur > 300°C, Salinitas tinggi, Dekat dengan batuan intrusi
Filik	Kuarsa Serisit Pirit	Anhidrit Pirit Kalsit Rutil	Temperatur 230 – 400°C, Salinitas beragam, PH asam – netral, Zona tembus air pada batas urat
Serisitik	Serisit (illit) Kuarsa Muskovit	Pirit Illit-serisit	-
Silisifikasi	Kuarsa	Pirit Illit-serisit Adularia	-

Sumber: Guilbert dan Park (1986)

Endapan epitermal sering juga disebut endapan urat, *stockwork*, *hot spring*, *volcanic hosted* dan lain-lain. Perbedaan tersebut disebabkan oleh perbedaan parameter yang digunakan dalam menggolongkan endapan mineral.

Ciri-ciri endapan epitermal menurut Lindgren (1933) adalah:

- Endapan dekat dengan permukaan dan replacement tidak pernah dijumpai.
- Asosiasi mineral: kalsit, klorit, kalkopirit, dolomit, emas, kaolin, muskovit, zeolit, dan kuarsa.

- Asosiasi mineral logam (Au dan Ag) dengan mineral *gangue*.
- Tekanan dan temperatur rendah, yaitu 50°C – 100°C.

White dan Hedenquest (1995) membagi endapan epitermal menjadi dua jenis, yaitu sulfidasi rendah dan sulfidasi tinggi. Batasan kedua istilah tersebut di dasarkan pada bilangan redoks (reduksi-oksidasi) unsur S dalam larutan mineralisasi. Unsur S dalam sistem hidrotermal yang mendekati PH netral umumnya memiliki bilangan redoks terendah -2 (misalnya senyawa H₂S), kondisi ini diistilahkan sebagai sulfidasi rendah. Istilah sulfidasi tinggi digunakan untuk unsure S dalam hidrotermal vulkanik yang mempunyai bilangan redoks mendekati +4 (misalnya senyawa SO₂). Sistem epitermal sulfidasi rendah, larutan magmatic yang didominasi gas H₂S direduksi pada saat bereaksi dengan batuan samping sehingga terjadi pengenceran akibat adanya sirkulasi larutan meteorik (air hujan). Dalam kondisi ini sulfur hadir dengan bilangan oksidasi -2 yang didominasi H₂S, sehingga diistilahkan sebagai sulfida rendah. Di bawah kondisi reduksi yang cukup tinggi ini sulfida hanya hadir sebagai sulfur sekunder. Perbedaan antara endapan epitermal sulfidasi rendah dan sulfidasi tinggi menurut White dan Hendequest (1995) dapat dilihat pada Tabel 2.2.

b. Mineralisasi

Bateman (1981) mengungkapkan bahwa secara umum proses mineralisasi dipengaruhi oleh beberapa faktor pengontrol, meliputi:

- a. Larutan hidrotermal yang berfungsi sebagai larutan pembawa mineral;
- b. Zona lemah yang berfungsi sebagai saluran untuk lewat larutan hidrotermal;
- c. Tersedianya ruang untuk pengendapan larutan hidrotermal;
- d. Terjadinya reaksi kimia dari batuan induk/*host rock* dengan larutan hidrotermal yang memungkinkan terjadinya pengendapan mineral bijih (*ore*);
- e. Adanya konsentrasi larutan yang cukup tinggi untuk mengendapkan mineral bijih (*ore*).

Tabel 2.2. Ciri-ciri Endapan Epitermal Sulfidasi Rendah dan Sulfidasi Tinggi

Komponen Pendekatan	Sulfidasi Tinggi (Acid Sulphate atau Kaolinit-Alunit)	Sulfidasi rendah (Adularia-Serisit)
Tatanan tektonik	Keduanya terbentuk pada lingkungan subduksi, terutama di dalam cekungan belakang busur.	
Kontrol struktur regional	Kaldera, kubah silisifikasi	Kaldera dan lingkungan vulkanik yang lain.
Kontrol struktur lokal	Dikontrol oleh sistem sesar regional utama dan rekahan yang dibentuk pada beberapa generasi.	Sesar lokal/regional atau rekahan.
Pola mineralisasi	Diseminasi dan kuarsa masif, <i>open space</i> dan <i>vuggy</i> tidak umum, <i>replacement</i> umum, <i>stockwork</i> tidak umum.	<i>Open space</i> dan <i>vuggy</i> , urat dengan batas tegas, <i>stockwork</i> Pb-Zn dekat permukaan umum tapiseditik.
Tekstur mineralisasi	<i>Vuggy</i> dan kuarsa masif	<i>Crustiform</i> , <i>comb</i> , <i>colloform</i> , <i>quartz</i> , <i>banded</i> , <i>cherty</i> , <i>chalcedonic</i> , <i>vuggy</i> , urat <i>stockwork</i> dan breksi hidrotermal.
Dimensi endapan	Lebih kecil dari adularia-serisit. Lebar vertikal umumnya < 500 m.	12 – 190 km, perbandingan urat panjang : lebar = 3 : 1, panjang bisa beberapa km, lebar vertikal 100 – 700 m.
<i>Host rock</i>	Batuan vulkanik asam-intermediet, umumnya riodasit (juga riolit, trakit andesit).	Batuan vulkanik asam-intermediet, riolit hingga andesit serta berasosiasi dengan intrusi dan batuan sedimen.
Mineral bijih	Enargit-luzonit, tenantit, pirit, kovelit, native Au, elektrum, barit, sulposalt, telurid, kadang bismut.	Galena, sfalerit, kalkopirit, pirit, arsenopirit, akhanthit, tetrahedrit, native Au, Ag, elektrum, barit, telurid. Tidak ada bismut.
Asosiasi geokimia anomali tinggi	Au, Ag, As, Cu, Sb, Bi, Hg, Te, Sn, Pb, Mo, Te/Se.	Au, Ag, As, Sb, Hg, Zn, Pb, Se, K, Ag/Au
Asosiasi geokimia anomali rendah	K, Zn, Ag/Au	Cu, Te/Se
Logam yang diproduksi	Endapan Au dan Ag produksi Cu cukup berarti	Endapan Au dan Ag. Produksi logam dasar bervariasi
Asosiasi mineral ubahan	Pirofilit, alunit, diaspor, kaolinit, kristobalit, serisit, silika. Tidak ada adularia, sedikit klorit.	Serisit, adularia, klorit, silika, illit, epidot. Alunit dan pengkayaan pirofilit.
Ubahan batuan samping	Argilik lanjut, bagian luar merupakan zona argilik menengah+serisit maupun zona propilitik.	Serisit (flik) hingga argilik menengah. Bagian luar merupakan zona propilitik.
Temperatur pengendapan bijih	100 – 3200 C (data terbatas)	Bijih : 150 – 3000 C.
Kedalaman pembentukan	300 – 600 m dapat mencapai >1200 m	100 – 1400 m sebagian besar 300 – 600 m.

Sumber: disarikan dari White dan Hedenquest (1995)

Menurut Lindgren (1933) faktor yang mengontrol terkonsentrasinya mineral-mineral logam (khususnya emas) pada suatu proses mineralisasi dipengaruhi oleh adanya :

a. Proses diferensiasi

Pada proses ini terjadi kristalisasi secara fraksional (*fractional crystalization*), yaitu pemisahan mineral-mineral berat pertama kali dan mengakibatkan terjadinya pengendapan kristal-kristal magnetit, kromit dan ilmenit. Pengendapan kromit sering berasosiasi dengan pengendapan intan dan platinum. Larutan sulfida akan terpisah dari magma panas dengan membawa mineral Ni, Cu, Au, Ag, Pt, dan Pd.

b. Aliran gas yang membawa mineral-mineral logam hasil pengayaan dari magma

Pada proses ini, unsur silika mempunyai peranan untuk membawa air dan unsur-unsur volatil dari magma. Air yang bersifat asam akan naik membawa CO₂, N, senyawa S, fluorida, klorida, fosfat, arsenik, senyawa antimon, selenida dan telurida. Pada saat yang bersamaan mineral logam seperti Au, Ag, Fe, Cu, Pb, Zn, Bi, Sn, tungsten, Hg, Mn, Ni, Co, Rd dan U akan naik terbawa larutan. Komponen-komponen yang terbawa dalam aliran gas tersebut berupa sublimat pada erupsi vulkanik dekat permukaan dan membentuk urat hidrotermal atau terendapkan sebagai hasil penggantian (*replacement deposits*) di atas atau di dekat intrusi batuan beku.

2.2.2 Mineralisasi Emas Epitermal

Umumnya endapan emas didapatkan bersama dengan perak dan tembaga yang seluruhnya merupakan hasil mineralisasi, termasuk di Cibaliung (Kurniawan dan Hartono, 2010). Mineralisasi merupakan suatu proses masuknya mineral jarang yang berharga ke dalam batuan model endapan emas yang dapat didekati dan dapat dijadikan acuan untuk eksplorasi selanjutnya, yaitu endapan emas epitermal atau porifiri dan endapan emas mesotermal. Selain itu emas didapatkan sebagai endapan *placer*.

Sebagian besar endapan emas di Indonesia dihasilkan dari jenis endapan emas epitermal. Lebih kurang 13% produk emas di dunia dihasilkan dari tipe endapan ini. Endapan emas epitermal pada umumnya didapatkan dalam bentuk urat-urat baik urat kuarsa ataupun urat karbonat yang terbentuk oleh hasil aktivitas hidrotermal yang berada di sekitar endapan porfiri, diaman emas, tembaga, wolfram, molibden dan timah terdapat di dalam endapan ini.

Proses terbentuknya endapan emas epitermal adalah sebagai berikut: emas diangkut oleh larutan hidrotermal yang kaya akan ligan HS^- dan OH^- . Ligan-ligan ini mengangkut emas hingga ke tempat pengendapannya. Kehadiran breksi hidrotermal merupakan salah satu penciri terjadinya pendidihan (*boiling*) pada larutan hidrotermal. Pendidihan ini terjadi karena ada pertemuan larutan yang bersuhu tinggi (lautan hidrotermal) dengan larutan yang bersuhu rendah (air meteorik). Selama proses pendidihan ini tekanan menjadi semakin besar sehingga menghancurkan dinding batuan yang dilalui oleh larutan hidrotermal. Akibat dari proses pendidihan ini yaitu hilangnya gas H_2S , terjadi peningkatan nilai pH dan penurunan suhu. Ketiga proses tersebut dapat menghantarkan emas pada batuan sehingga kadar emas primer yang cukup tinggi biasanya dijumpai pada breksi hidrotermal.

2.2.3 Kontrol Struktur dan Litologi

Patahan menjadi faktor dominan dalam pembentukan emas epitermal karena patahan merupakan jalur mengalirnya fluida hidrotermal ke permukaan. MacKenzi dan Crow (2010) menemukan kontrol patahan (struktur geologi) serupa ini di daerah *White River*, Yukon. Aliran fluida dikontrol oleh rekahan dan batuan breksi yang berasosiasi dengan patahan, selain itu, aliran juga dikontrol oleh *shallow-dipping shears* yang berasosiasi dengan lipatan *Fase Greenschist*. Di tempat yang sama, alterasi hidrotemal dikontrol oleh tipe batuan yang bersebelahan dengan patahan. *Felsic* dan kuarsa adalah jenis batuan utama yang membentuk struktur patahan, serta menjadi faktor penting terbentuknya emas.

Dalam kaitannya dengan mineralisasi emas, faktor geologi yang juga mempunyai kontrol penting adalah litologi. Litologi menjadi penting karena fluida hidrotermal

yang naik ke permukaan akan memilih zona-zona litologi yang cenderung lemah sehingga relatif mudah ditembus. Asosiasi antara mineralisasi emas dan litologi diungkapkan oleh Sumardi (2009), bahwa endapan bijih memiliki asosiasi kuat dengan litologi tertentu. Lebih jauh Sumardi (2009) mengungkapkan bahwa endapan epitermal hampir selalu berasosiasi dengan batuan vulkanik kalk-alkalin dan batuan intrusi, beberapa memperlihatkan suatu hubungan yang erat dengan batuan vulkanik alkali.

Robert *et al.* (2007) mengungkapkan bahwa emas yang tersulfida pada suhu yang rendah (*low sulfidation*) berasosiasi dengan bentukan yang berkaitan dengan busur magmatik benua dan rekahan, busur magmatik alkali dan patahan regional. Sedangkan emas yang mengalami sulfidasi pada suhu yang tinggi (*high sulfidation*) berasosiasi dengan busur kalk-alkali hingga alkali, busur andesit hingga dasitik, patahan regional searah busur magmatik dan tutupan vulkanik. Sedangkan Surip, Hamzah, Zakaria, Napiyah dan Ab.Talib (2007) menyatakan bahwa emas berada litologi vulkanik dan *limestone*.

2.3 Mineralisasi di Cibaliung

Menurut Kurniawan dan Hartono (2010), Cibaliung termasuk dalam tipe endapan epitermal dengan alterasi yang bervariasi secara vertikal. Alterasi yang ada di Cibaliung dapat dibedakan antara alterasi pada level permukaan dan alterasi pada level 1140 dan 1160 mRL (*meter relative level* atau ketinggian pada level relatif). Pada level 1140 mRL dan 1160 mRL, alterasi paling dominan illit-smektit, meskipun terdapat *corrensite* dan kaolinite, yang merupakan mineral-mineral khas pada sistem epitermal dengan suhu pembentukan 1500 °C – 2000°C. Alterasi di permukaan didominasi oleh kaolin group yaitu kaolin dan dikit di samping smektit-illit. Munculnya kaolin selain karena pengaruh alterasi hidrotermal diduga disebabkan pengaruh pelapukan di permukaan.

Harijoko, Yukiko, Yoshinobu, Akira dan Koichiro (2007) yang melakukan studi pada *vein* Cikoneng dan *vein* Cibitung terkait karakteristik alterasi hidrotermal, bijih dan mineral ikutan, oksigen dan hidrogen isotop dan inklusi fluida menyimpulkan bahwa deposit emas di Cibaliung termasuk dalam tipe endapan

epitermal sulfidasi rendah. Studi di daerah yang sama, Angeles, Prihatmoko dan Walker (2002) menyimpulkan bahwa deposit emas di Cibaliung merupakan tipe epitermal sulfidasi rendah adularia-serisit atau tipe epitermal *quartz gold-silver vein style*. Cibaliung yang memiliki tipe epitermal *quartz gold-silver vein style*, deposit emasnya akan berasosiasi dengan alterasi pilitik/argilik, propilitik dan sedikit advanced argilik (Corbett dan Leach, 1997).

2.4 Penginderaan Jauh (PJ)

Penginderaan jauh merupakan ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang suatu objek, daerah, atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa kontak langsung dengan objek, daerah, atau fenomena yang dikaji (Lillesand dan Kiefer, 1994). Sistem penginderaan jauh dapat bersifat aktif dan pasif. Penginderaan jauh sistem pasif, apabila sumber tenaga yang digunakan berasal dari matahari atau sumber lain di luar sensor (alat perekam data). Penginderaan jauh sistem aktif, apabila sumber tenaga dibangkitkan sendiri oleh sensornya, yaitu menggunakan generator atau pembangkit tenaga.

Konsep dasar penginderaan jauh terdiri atas beberapa elemen atau komponen, meliputi sumber tenaga, atmosfer, interaksi tenaga dengan obyek di permukaan bumi, sensor, sistem pengolahan data, dan berbagai penggunaan data. Purwadhi (1990) menggambarkan konsep dasar sistem penginderaan jauh dimulai dari perekaman obyek permukaan bumi. Tenaga elektromagnetik bagi sistem pasif berasal dari matahari, perjalanan tenaga melalui atmosfer, dan berinteraksi dengan benda di permukaan bumi. Pantulan dan atau pancaran permukaan bumi direkam oleh sensor penginderaan jauh. Sensor tersebut dapat dipasang dalam wahana pesawat terbang maupun satelit. Sensor satelit merekam permukaan bumi, dikirimkan ke stasiun penerima data di bumi. Stasiun bumi menerima data permukaan bumi dari satelit dan direkam dalam pita magnetik dalam bentuk digital. Rekaman data diproses di laboratorium pengolahan data dan didistribusikan ke berbagai pengguna.

Data penginderaan jauh telah banyak diaplikasikan untuk berbagai bidang kehidupan, baik fisik maupun non-fisik, seperti untuk pemantauan tutupan hutan, aplikasi di bidang kebumihan, arkeologi, pertanian, pemantauan kualitas air dan udara, dan lain sebagainya. Dibandingkan dengan data lainnya, data penginderaan jauh ini memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah: perolehan data yang cepat, dapat segera diperbaharui, dapat mencakup wilayah yang tidak bisa dijangkau dengan survey terestris seperti hutan belantara.

Untuk aplikasi dibidang kebumihan, citra penginderaan telah banyak digunakan untuk eksplorasi mineral. Beberapa penelitian yang menggunakan data penginderaan jauh untuk eksplorasi mineral diantaranya telah dilakukan oleh, Rigol-Sanchez, (2003) untuk eksplorasi emas di areal tambang emas di Rodalquilar-Spanyol, Peter *et al.* (2011) untuk eksplorasi mineral di Kanada, Swalf, Crosta dan de Souza Filho (2003) untuk eksplorasi emas di Minas Gerais-Brazil, Kujjo (2010) untuk eksplorasi emas di Nuba Montains-Sudan, Spatz (1996) untuk pemodelan deposit mineral porfiri dan Zeinelabdein (2002) untuk eksplorasi mineral emas dan besi di Sudan.

2.4.1 ASTER

ASTER atau *Advanced Spaceborne Thermal Emission Radiometer* merupakan salah satu dari lima sistem sensor yang terdapat pada satelit Terra. Satelit ini dikembangkan melalui kerjasama antara *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) dan Kementerian Ekonomi Perdagangan dan Industri Jepang. Proyek ini didukung oleh para ilmuwan dari kedua negara dari berbagai bidang kelimuan, diantaranya: geologi, meteorologi, pertanian, kehutanan, studi lingkungan dan vulkanologi. Satelit Terra diluncurkan pada 18 Desember 1999 di Pangkalan Udara Vandenberg pada orbit (garis edar) yang sama dengan Landsat TM tetapi dengan setengah jam *delay*.

Sensor ASTER merupakan peningkatan dari sensor yang dipasang pada satelit generasi sebelumnya, *Japan Earth Resources Satellite 1* (JERS-1). Sensor ini terdiri dari tiga sub-sistem, yaitu *Visible and Near Infrared Radiometer* (VNIR),

Short Wavelength Infrared Radiometer (SWIR), dan *Thermal Infrared Radiometer* (TIR) dengan lebar cakupan sebesar 60 km x 75 km.

VNIR merupakan sensor yang memiliki *high performance* dan *high resolution optical instrument*. Sub-sistem dengan 3 *band* ini bekerja pada gelombang *visible* hingga *infrared* (0,52-0,86 μm) dengan resolusi spasial 15 meter. *Band* 3B dari VNIR merupakan nadir dan *backward looking* data, sehingga kombinasi data pada sub-sistem ini memungkinkan untuk pencitraan *stereoscopic*. SWIR merupakan sensor yang memiliki *high resolution optical instrument* yang terbagi ke dalam 6 *band*, sensor dengan resolusi spasial 30 meter ini bekerja pada rentang panjang gelombang antara 1,6-2,43 μm . Sub-sistem ASTER lainnya, yaitu TIR merupakan sub-sistem inframerah multi *band* (5 *band*) yang bekerja pada panjang gelombang 0,8-0,12 μm dengan resolusi spasial 90 meter. Karakteristik tiap sub-sistem dalam citra ASTER dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Karakteristik Spektral Citra ASTER

Sub-sistem	Band	Rentang Spektral (μm)	Resolusi Spasial (m)	Level Kuantisasi
VNIR	1	0,52-0,60	15	8 bit
	2	0,63-0,69		
	3N	0,78-0,86		
	3B	0,78-0,86		
SWIR	4	1,60-1,70	30	8 bit
	5	2,145-2,185		
	6	2,185-2,225		
	7	2,235-2,285		
	8	2,295-2,365		
TIR	9	2,360-2,430	90	12 bit
	10	8,125-8,475		
	11	8,475-8,825		
	12	8,925-9,275		
	13	10,25-10,95		
	14	10,95-11,65		

Sumber: ASTER User Handbook

Ketersediaan dan aksesibilitas 14 saluran multispektral menjadikan ASTER memiliki potensi untuk diterapkan pada berbagai aplikasi, seperti analisis spektral, *global warming*, area hidrologi, investigasi sumber daya alam, klasifikasi

tumbuhan, eksplorasi daerah pesisir, dan pemantauan bencana alam. Di bidang pertambangan, ASTER memungkinkan untuk penyediaan informasi detail mengenai mineralogi, kimia dan morfologi permukaan bumi secara detail melalui prinsip-prinsip spektroskopis.

ASTER memiliki resolusi spektral yang lebih baik dibandingkan citra satelit sejenisnya (Landsat), terutama pada sub-sistem SWIR dan TIR. Oleh karenanya, ASTER memungkinkan untuk identifikasi lebih banyak susunan mineral (Gozzard, 2006). Sub-sistem SWIR ASTER dengan 6 *band* merupakan instrumen yang berguna untuk identifikasi mineral. *Band* 4 pada sub-sistem memiliki panjang gelombang yang sama dengan Landsat TM *band* 5 dimana sebagian besar mineral memiliki reflektansi maksimal. *Band* 5 sampai 9 mencakup panjang gelombang di mana mineral *OH-bearing* dan mineral karbonat mengalami absorpsi. Mineral mineral yang dapat diidentifikasi melalui SWIR ASTER yang memiliki daya tarik bagi ahli geologi diantaranya adalah:

- *Alunite-pyrophyllite*- merupakan mineral penting bagi eksplorasi mineral karena mencirikan alterasi argilik;
- *Kaolin-group minerals*- juga mineral bagi eksplorasi mineral, yang membantu identifikasi alterasi argilik dan pemetaan *regolith*;
- *Illite-muscovite-smectite*- mineral yang umum dijumpai pada level permukaan dan berguna untuk pemetaan *regolith*;
- Mineral Mg-OH dan karbonat- komponen utama pada sebagian besar unit litologi.

Pada sub-sistem TIR, kelima *band*-nya dapat digunakan untuk membedakan feldspar, kuarsa, karbonat, amfibol dan lempung (*clay*). Saluran ini dapat digunakan untuk pemantauan jenis tanah, geotermal dan batuan di permukaan bumi

2.4.2 Directed Principal Component Analysis

Directed Principal Component Analysis (DPCA) atau *Software Defoliant Technique* adalah teknik penajaman citra berdasarkan perhitungan *band ratio* dan *Principal Component Analysis* (PCA) . Metode DPCA ini merupakan metode

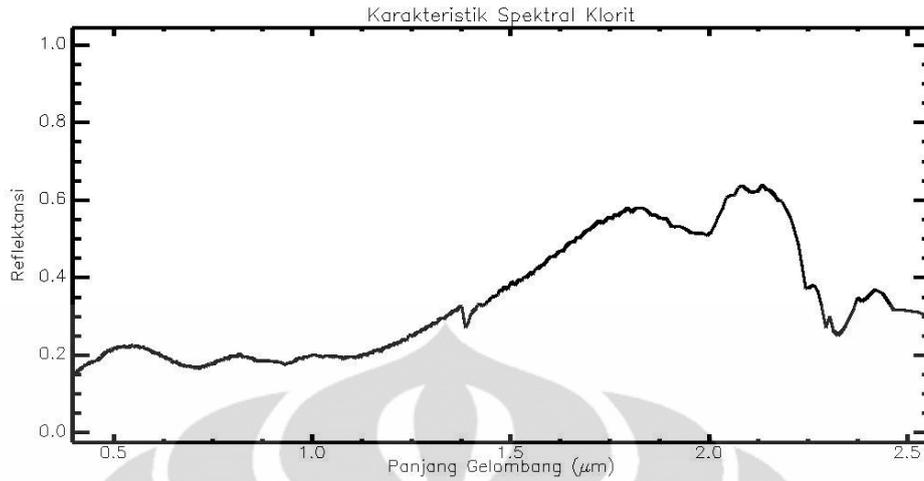
penajaman yang bisa digunakan untuk penajaman citra untuk identifikasi mineral permukaan di daerah tropis yang memiliki vegetasi yang rapat. Keberadaan vegetasi ini menghalangi respon spektral dari mineral permukaan sehingga keberadaan mineral yang notabene berada di bawahnya tidak tampak. Metode ini telah berhasil memetakan sebaran nikel laterit di Sorowako yang memiliki vegetasi rapat (Primanda, 2008). Dengan teknik yang sama, Tiwari, Send dan Garg (2011) berhasil memetakan *hydroxyl-bearing* mineral lempung (*clay minerals*) di Khetri Copper Belt, India.

Directed Principal Component Analysis (DPCA) adalah metode analisis dari dua input *ratio* pada citra satelit. Input untuk *ratio* yang dipilih dengan acuan bahwa input *ratio* pertama pertama adalah *ratio* yang memiliki informasi yang berkaitan dengan komponen yang menjadi objek kajian (seperti misalnya alterasi hidrotermal), sedangkan input *ratio* kedua yang dipilih adalah yang mengandung informasi mengenai objek lain yang mengganggu respon spektral dari objek kajian yang ingin diteliti (Fraser dan Green, 1987 dalam Carranza, 2002).

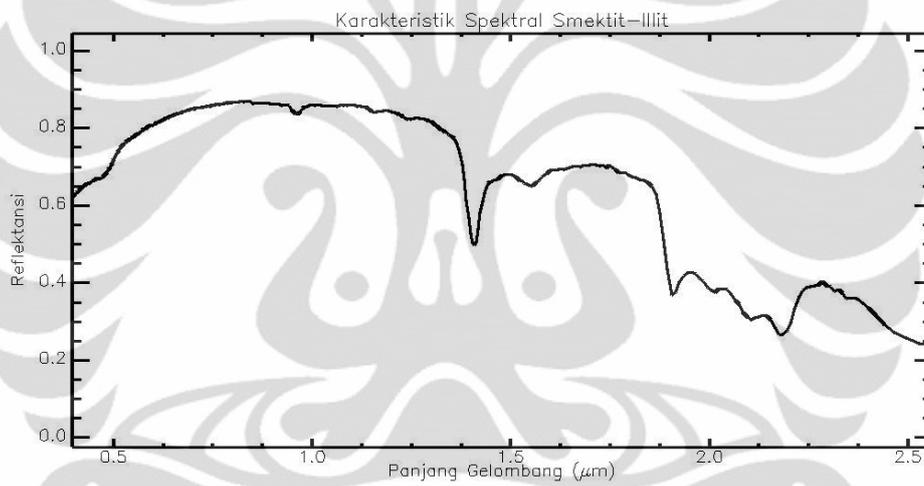
Pemilihan input *band ratio* didasarkan pada karakteristik reflektansi tiap mineral yang menjadi objek kajian dan karakteristik spektral *band* dari citra yang digunakan. Dalam penelitian ini mineral permukaan yang dijadikan indikator alterasi dan mineralisasi adalah mineral smektit-illit dan klorit, masing-masing merupakan mineral kunci untuk alterasi argilik dan propilitik yang berasosiasi dengan mineralisasi emas pada sistem epitermal sulfidasi rendah yang merupakan sistem epitermal di Cibaliung. Mineral-mineral tersebut yakni klorit sebagai mineral kunci alterasi propilitik dan smektit-illit sebagai mineral kunci pada alterasi argilik. Karakteristik reflektansi mineral indikator (klorit dan smektit-illit) dan vegetasi dapat dilihat pada gambar 2.1 (a,b dan c).

2.5 Sistem Informasi Geografis

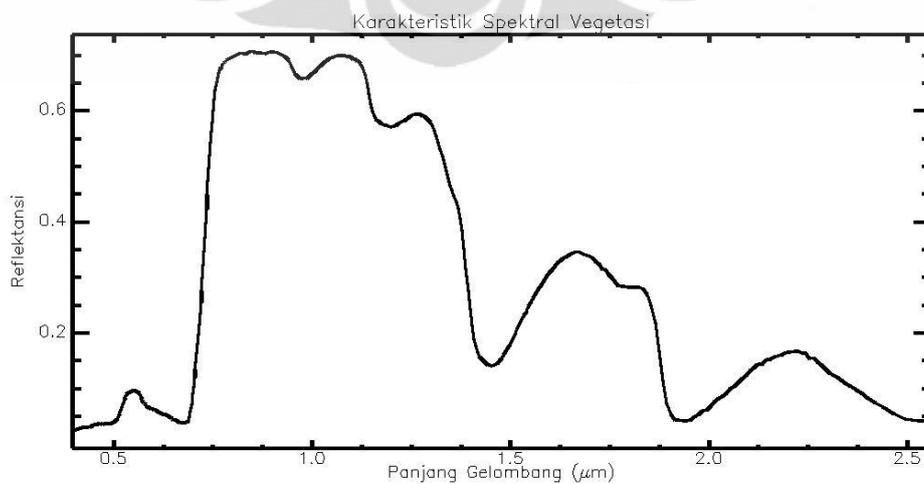
Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan suatu sistem berbasis komputer yang digunakan untuk menyimpan dan memanipulasi informasi-informasi geografis. SIG dirancang untuk mengumpulkan, menyimpan, dan menganalisis objek-objek dan fenomena-fenomena dimana lokasi geografis merupakan



Gambar 2.1 a. Reflektansi Mineral Klorit (USGS Spectral Library, 2007)



Gambar 2.1 b. Reflektansi Mineral Smektit-Illit (USGS Spectral Library, 2007)



Gambar 2.1c. Reflektansi Vegetasi (USGS Spectral Library, 2007)

karakteristik yang penting atau kritis untuk dianalisis (Prahasta, 2007). Berdasarkan pengertian di atas, SIG merupakan sistem komputer yang memiliki empat kemampuan berikut dalam menangani data yang bereferensi geografis: (a) masukan, (b) keluaran, (c) manajemen data (penyimpanan dan pemanggilan data), (d) analisis dan manipulasi data.

SIG telah dimanfaatkan oleh berbagai kalangan yang bekepentingan dengan data spasial. Hal ini dikarenakan SIG mampu mempermudah penyajian, pengolahan, analisis dan manipulasi data spasial dengan cepat dan relatif mudah. Dengan sistem komputerisasi yang semakin berkembang, SIG telah semakin banyak mengalami perkembangan terutama untuk aplikasinya dalam mempermudah kehidupan manusia.

Pemanfaatan SIG dalam kegiatan eksplorasi mineral terutama mineral logam telah dikenal sejak awal tahun 1980-an oleh industri pertambangan dan lembaga-lembaga pemerintah di Indonesia. Dalam hal ini SIG pada umumnya hanya diaplikasikan sebagai alat bantu dalam pembuatan peta dan sebagai sistem penyimpanan data (basis data) hasil eksplorasi. Sementara itu perkembangan pemanfaatan SIG dalam kegiatan eksplorasi mineral saat ini telah berkembang dengan pesat terutama di negara-negara maju seperti Australia, Kanada, dan Amerika Serikat. Di negara-negara tersebut SIG tidak saja hanya dimanfaatkan sebagai alat bantu pengganti manusia dalam menghasilkan peta, tetapi juga sudah dimanfaatkan sebagai suatu sistem informasi terpadu yang ditujukan untuk pengambilan keputusan terutama dalam analisis kuantitatif dan integrasi data spasial (Hilman, 2007).

Proses pemetaan potensi mineral berbasis SIG dapat dibagi menjadi empat langkah utama, yaitu:

1. Pembuatan database spasial digital;
2. Ekstraksi variabel penduga kejadian mineral, berdasarkan model eksplorasi masing masing mineral;
3. Eksplorasi tiap masing masing variabel untuk generalisasi; dan

4. Penggabungan seluruh variabel penduga deposit mineral.

2.6 *Weight of Evidence*

Model *Weights of Evidence (WofE)* adalah pengembangan dari model Probabilitas Bayes. Metode ini merupakan metode kuantitatif yang menggabungkan evidence atau bukti kejadian di lapangan untuk menguji hipotesis. Pada awalnya metode ini dikembangkan untuk aplikasi non spasial di bidang kesehatan. Metode ini diadopsi pada akhir tahun 1980 untuk aplikasi dalam pemetaan potensi mineral berbasis SIG. Melalui metode ini Bonham-Carter, Agterberg dan Wright (1989) mendeskripsikan hubungan kuantitatif antara deposit mineral dengan faktor fisik. Dalam model *weights of evidence*, yang dimaksud dengan *evidence* meliputi kumpulan data eksplorasi (contoh: peta geologi, peta rupabumi, peta geofisika, dll) dan hasil hipotesis sebaran potensi deposit mineral. Sedangkan *weight* merupakan bobot hasil perhitungan asosiasi antara deposit mineral dengan variabel yang digunakan.

Dalam aplikasi *weights of evidence*, diperlukan beberapa asumsi. Pertama, setiap daerah yang dikaji memiliki peta *binary* prediksi yang digunakan untuk pendugaan potensi mineral. Kedua, sebaran mineral berupa titik titik mineral di lapangan sudah diketahui. Peta *binary* prediksi digunakan sebagai input yang akan menghasilkan peta kejadian mineral yang belum diketahui berdasarkan estimasi probabilitas.

Perhitungan *weights of evidence* meliputi beberapa tahapan (Bonham-Carter, Agterberg dan Wright, 1989), :

1. Estimasi probabilitas prior (*prior probability*), misalnya probabilitas kejadian mineral dalam suatu unit area;
2. Kalkulasi bobot positif dan negatif untuk setiap *binary* peta prediksi, menggunakan rasio probabilitas kondisional;
3. Uji kondisional *independence* untuk setiap input peta berdasarkan titik kejadian mineral;

4. Kalkulasi probabilitas prior untuk setiap overlap setiap *binary* peta prediksi;
5. Aplikasi *goodness-of-fit* tes untuk asumsi kondisional *independence* secara keseluruhan.

Persamaan matematis Probabilitas Bayes menurut Bonham-Carter, Agterberg dan Wright (1989) adalah sebagai berikut:

Jika daerah penelitian dibagi ke dalam unit *cell* (piksel) dengan ukuran u km² dan total area t km², maka $T = t/u$ adalah jumlah total piksel di daerah penelitian. Jika sejumlah D piksel dijumpai keberadaan mineral, maka *prior probability* setiap piksel yang dipilih secara acak untuk setiap piksel yang mengandung mineral adalah $P(D) = D/T$, diekspresikan melalui *odd* berikut:

$$O(D) = \frac{P(D)}{1 - P(D)} = \frac{D}{T - D} \quad (2-1)$$

Untuk *binary* peta prediksi ke- j , $j = 1, 2, \dots, n$, area yang memiliki pasangan pencari mineral dalam unit *cell* adalah $B_j = b_j/u$, b_j adalah area dalam km²; sedangkan area yang tidak memiliki pasangan pencari mineral digambarkan dengan \bar{B}_j atau setara dengan $T - B_j$ jika sebagian dari region tidak diketahui dan sesuai dengan urutan ke- j . area yang tumpangtindih (*overlap*) antara mineral yang diketahui dengan *binary* ke- j dilambangkan dengan:

$$B_j \cap D, \bar{B}_j \cap D, B_j \cap \bar{D} \text{ dan } \bar{B}_j \cap \bar{D}. \quad (2-2)$$

Probabilitas kondisional dari pemilihan piksel yang mengandung mineral, dimana piksel tersebut merupakan B_j adalah:

$$P(D|B_j) = \frac{B_j \cap D}{B_j} \quad (2-3)$$

Secara bersamaan, tiga probabilitas kondisional lainnya bisa didefinisikan sebagai:

$$P(D|B_j) = \frac{B_j \cap D}{B_j} \quad (2-4)$$

$$P(D|\bar{B}_j) = \frac{\bar{B}_j \cap D}{\bar{B}_j} \quad (2-5)$$

$$P(\bar{D}|B_j) = \frac{B_j \cap \bar{D}}{B_j} \quad (2-6)$$

Sesuai dengan aturan Bayes, persamannya menjadi:

$$P(D|B_j) = \frac{P(B_j|D) P(D)}{P(B_j)} \quad (2-7)$$

$$P(D|\bar{B}_j) = \frac{P(\bar{B}_j|D) P(D)}{P(\bar{B}_j)} \quad (2-8)$$

Jika bobot (*weight*) dari setiap pola j didefinisikan sebagai:

$$W_j^+ = \log_e \frac{P(B_j|D)}{P(B_j|\bar{D})} \quad (2-9)$$

$$W_j^- = \log_e \frac{P(\bar{B}_j|D)}{P(\bar{B}_j|\bar{D})} \quad (2-10)$$

Dari persamaan di atas, terdapat dua kemungkinan mengenai pasangan penciri keberadaan mineral. Jika $W^+ \geq 0$, maka *binary* peta prediksi ke- j memiliki pasangan penciri mineral. Sedangkan jika $W^- < 0$, maka *binary* peta prediksi ke- j tidak memiliki pasangan penciri mineral.

Posterior probability kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P = \frac{O}{1+O} \quad (2-11)$$

Untuk setiap peta prediksi, nilai kontras $C = W^+ - W^-$ memberikan perhitungan korelasi yang berkaitan dengan keberadaan deposit mineral. Bobot W^+ dan W^- memiliki nilai yang saling berlawanan, kecuali jika W bernilai 0. Nilai positif atau negatif pada *contrast* menunjukkan hubungan asosiasi. Nilai positif untuk variabel

yang berasosiasi positif terhadap kejadian mineral dan nilai negatif untuk variabel yang berasosiasi negatif. Nilai signifikansi dari hubungan asosiasi ini ditunjukkan pada nilai Stud(C), semakin besar nilainya maka signifikansinya makin tinggi. Stud(C) merupakan rasio nilai *contrast* terhadap standar deviasinya, stud(C) dikalkulasikan sebagai:

$$\text{Stud(C): } \sqrt{s^2(W^+) + s^2(W^-)} \quad (2-12)$$

2.7 Penelitian Terdahulu

Pada bagian ini dipaparkan penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini, baik secara lokasional maupun metodologi. Secara lokasional, penelitian di Cibaliung sebagian besar ditujukan untuk mempelajari karakteristik mineralisasi emas di daerah ini, seperti yang dilakukan oleh Harijoko, Yukiko, Yoshinobu, Akira dan Koichiro (2007), dan oleh Kurniawan dan Hartono (2010). Dari segi metodologi, metode *Directed Principal Components Analysis* (DPCA) pernah dilakukan oleh Tiwari, Send dan Garg (2011) di India sedangkan *Weights of Evidence* pernah diterapkan oleh Bonham-Carter, Agterberg dan Wright (1989) di Nova Scotia (Kanada).

Harijoko, Yukiko, Yoshinobu, Akira dan Koichiro (2007) melakukan kajian di Cibaliung terhadap mineralogi bijih, alterasi hidrotermal, geologi, inklusi fluida, kesetabilan isotop dan *age dating* dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik deposit dan mekanisme yang mungkin untuk pemeliharaan deposit. Hasil kajian menyimpulkan bahwa deposit emas di Cibaliung diklasifikasikan ke dalam tipe epitermal sulfidasi rendah, fluida hidrotermal yang bekerja pada formasi Cibaliung adalah fluid ber-pH netral, formasi di permukaan terbentuk pada suhu 170°C dan 220°C pada level dalam, studi isotop pada oksigen dan hidrogen menunjukkan bahwa fluida pada hidrotermal yang bekerja berasal dari air meteorik yang mengalami penetrasi melalui batuan samping dengan rasio air-batuan yang tinggi, mineralisasi emas Cibaliung tergolong tua namun zona mineralisasinya diyakini masih berlangsung hingga saat ini. Dari fakta-fakta yang

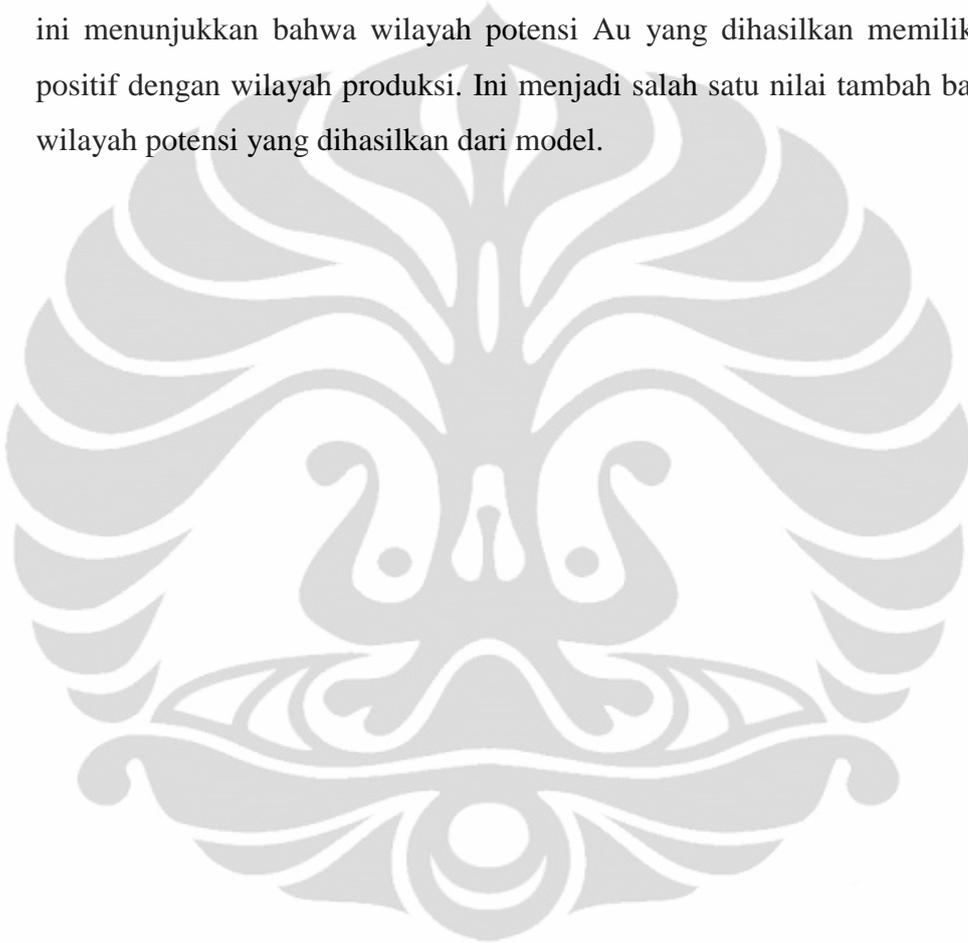
ditemukan, maka mekanisme pemeliharaan masih dimungkinkan, terutama untuk deposit vulkan yang masih muda, seperti Citeluk Tuff dan Cibaliung Tuff.

Kurniawan dan Hartono (2010) melakukan penelitian di daerah Cibaliung dalam rangka mempelajari karakteristik mineralisasi permukaan di *vein* Cikoneng. Metode yang digunakan pada penelitian tersebut meliputi metode paritan, pemboran, analisa XRD (*X-Ray Diffraction*) dan analisa *Fire Assay/AAS*. Penelitian yang dilakukan pada kedalaman level permukaan atau 1200 mRL (*meter relative level*), level 1140 dan 1160 mRL disimpulkan bahwa: tipe alterasi dan mineralisasi daerah permukaan Cikoneng termasuk dalam tipe endapan epitermal, pada level 1140 mRL *vein* berupa *vein* masif, pada level 1160 mRL *vein* berupa zona *vein* dan sebagian zona alterasi dengan fragmen kuarsa, pada level permukaan (1200 mRL) *vein* berupa zona *vein* dan zona alterasi, Au-Ag pada level 1140 mRL, 1160 mRL dan permukaan (1200 mRL) 1140 mRL, 1160 mRL dan permukaan (1200 mRL) memiliki koefesien korelasi positif sedang-tinggi yang berarti bahwa kadar Ag naik, kadar Au naik, semakin ke permukaan intensitas mineralisasi Au semakin lemah dengan mineralisasi paling intensip berada pada level 1140 mRL, alterasi yang berkembang pada level 1140 dan 1160 mRL adalah illit-smektit sedangkan pada level permukaan (1200 mRL) adalah kaolin dan dikit, juga ditemukan smektit-illit.

Tiwari, Send dan Garg (2011) menggunakan landsat ETM+ untuk mengekstrak zona batuan teralterasi hidrotermal di daerah Khetri Copper Belt, Rajasthan, India, dimana daerah penelitian merupakan aeral subtropis yang ditutupi vegetasi. Penggunaan metode *principal component analysis* dari dua input *band ratio* (DPCA) berhasil mendeteksi *hydroxyl bearing* mineral lempung pada area yang bervegetasi. Pada akhir penelitian ini disimpulkan bahwa penggunaan citra satelit untuk tahap awal identifikasi batuan teralterasi hidrotermal dan metode DPCA adalah alat yang murah dan cepat dalam eksplorasi mineral.

Bonham-Carter, Agterberg dan Wright (1989) menggunakan model *weights of evidence* untuk memprediksi potensi emas di Maguma Tengah (selatan laut Nova Scotia). Pada model tersebut digunakan sebaran mineral yang telah diketahui untuk kalkulasi *multi predictor map* (variabel) yang berkaitan dengan mineralisasi

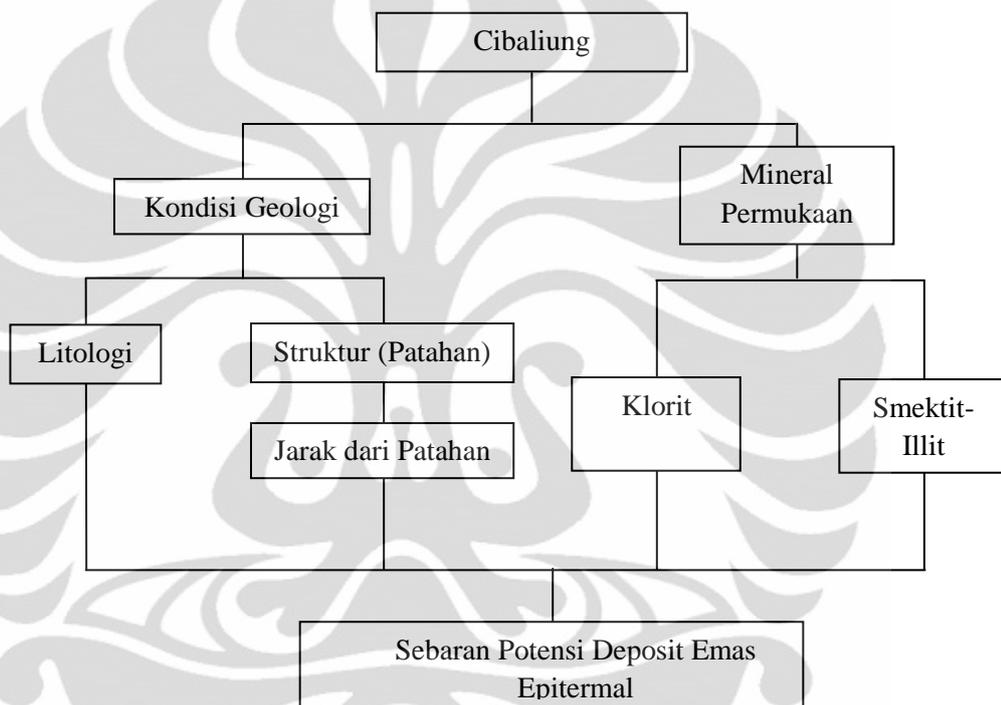
emas, yang kemudian digunakan untuk menghasilkan peta potensi emas. Pada penelitian yang dilakukan di salah satu wilayah Kanada ini menggunakan enam peta prediksi, yaitu: keberadaan Formasi Goldenville, jarak dari sumbu aksis antiklin, keberadaan anomali Au yang kuat, keberadaan anomali unsur Au, As, Sb dan W pada sedimen danau, jarak dari kontak Goldenville-Halifax, jarak dari kontak granit. Kalkulasi *posterior probability* untuk kejadian Au pada penelitian ini menunjukkan bahwa wilayah potensi Au yang dihasilkan memiliki korelasi positif dengan wilayah produksi. Ini menjadi salah satu nilai tambah bagi akurasi wilayah potensi yang dihasilkan dari model.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Pendekatan

Dalam penelitian ini, sebaran potensi emas epitermal dan karakteristik wilayahnya didekati dengan alur pikir seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Alur Pikir Penelitian

Karakteristik wilayah potensi deposit emas dan sebarannya didekati melalui keberadaan mineral permukaan dan kondisi geologi. Mineral permukaan yang dijadikan indikator mineralisasi emas adalah klorit dan smektit-illit. Sedangkan dari kondisi geologi, potensi emas didekati melalui jenis litologi dan struktur geologi.

Klorit merupakan mineral penciri alterasi propilitik sedangkan smektit-illit adalah mineral penciri alterasi argilik. Kedua jenis alterasi ini merupakan alterasi yang berasosiasi dengan endapan emas epitermal sulfidasi lemah (Corbett dan Leach, 1997) yang merupakan tipe mineralisasi emas di Cibaliung (Harijoko, Yukiko, Yoshinobu, Akira dan Koichiro, 2007).

Litologi menjadi penting bagi suatu deposit emas karena berkaitan dengan permeabilitas tiap-tiap batuan dalam mengalirkan larutan hidrotermal menuju permukaan. Patahan merupakan struktur geologi yang dijadikan variabel pada penelitian ini. Adanya patahan merupakan faktor yang sangat menentukan bagi terjadinya mineralisasi, Hal ini disebabkan karena mineralisasi terjadi pada batuan yang bereaksi dengan larutan hidrotermal yang mengalir ke atas melalui patahan yang terjadi pada batuan.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Litologi
- Struktur geologi (patahan)
- Zona alterasi

3.3 Sumber Data

- Data geologi yang meliputi litologi dan struktur daerah kajian diperoleh dari Peta Geologi Lembar Cikarang (lembar 1109-2) Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi skala 1: 100.000, peta geologi detail PT. Antam Unit Geomin.
- Data topografi daerah penelitian diperoleh dari Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Bakosurtanal skala 1: 25.000 Lembar Cibaliung (1109-232), Lembar Cinyurup (1109-214), Lembar Taman Jaya (1109-213), dan Lembar Suka Maju (1109-231).
- Data sebaran mineral permukaan yang mencirikan zona alterasi diperoleh dari hasil pengolahan citra ASTER Level 1B *path* 122 *row* 65 yang direkam pada tanggal 9 Juni 2006.
- Data sebaran urat kuarsa (*quartz vein*) dari PT. Cibaliung Sumberdaya (PT.CSD).

3.4 Pengolahan Data

Pada penelitian ini data diolah dengan menggunakan *software-software* pengolahan data spasial dan pengolahan citra seperti ArcGIS (Versi 9.3), ER Mapper (Versi 7.0), dan ENVI (versi 4.7). Data dari sumber yang beragam terlebih dahulu diseragamkan baik format maupun sistem proyeksinya agar data-data yang menjadi variabel penelitian bisa diintegrasikan dan kemudian bisa dilakukan analisis.

3.4.1 Pengolahan Citra

Pada penelitian ini digunakan citra ASTER yang diakusisi pada tanggal 9 Juni 2006 dengan *path* 122 dan *row* 56. Tanggal akusisi ini dipilih untuk menghindari kerusakan permanen sensor SWIR ASTER yang terjadi pada bulan April 2008. Selain itu, tanggal akusisi ini dipilih karena tutupan awan pada citranya nol persen sehingga sangat baik untuk mendapatkan informasi zona alterasi.

a. Pra Pengolahan Citra

Pra pengolahan ASTER diperlukan untuk menghilangkan efek sensor dan atmosfer dan untuk menempatkan citra pada lokasi yang sesuai dengan lokasinya di permukaan bumi. Pra pengolahan citra ASTER meliputi (Gozzard, 2006):

- *Crosstalk Correction*

Crosstalk merupakan efek pada citra ASTER yang disebabkan oleh kebocoran foton pada *element detector band* 4 sehingga foton pada *band-band* lain dalam sub-sitem SWIR mengalami peningkatan. Efek ini memicu adanya anomali pada pemrosesan citra ASTER.

- *Calibration to Radiance at Sensor*

Proses ini diperlukan untuk memaksimalkan rentang dinamis (*dynamic range*) data dan menyusun nilai digital menjadi nilai radian pada *top of atmosphere* (ToA). Pada proses ini nilai *digital number* (DN) dikalibrasi menjadi unit sensor radian yang memiliki satuan standar internasional ($\text{Watts/m}^2/\text{stereoradian}/\mu\text{m}$).

- *Correction for Orbital Parameters*

Satelit mengorbit bumi pada jalur yang condong, oleh karena itu perlu dilakukan rotasi agar sesuai dengan orientasi bumi. Tahapan rotasi citra ASTER ke dalam parameter orbit ini diperlukan untuk koreksi geometrik citra.

- *East-west offset of SWIR Bands*

Efek *crossstalk* dan orbit satelit ASTER yang condong mengakibatkan citra ini mengalami *offset* melebihi batas cakupan *band* SWIR yang telah tergeoreferensi. *Offset* ini berkisar sekitar 20 piksel atau 600 m. Oleh karena itu, terdapat ketidakteraturan spasial saat *band* SWIR dilakukan pemrosesan. Efek ini tidak berpengaruh ketika *band* SWIR digunakan secara terpisah per-*band*, akan tetapi ketika diperlukan pemrosesan secara multi-*band* seperti pada penelitian ini, maka koreksi ini multak diperlukan.

- *Dark pixel Correction*

Tahapan ini berfungsi untuk menghilangkan efek atmosfer pada citra. Efek ini berkaitan dengan tambahan kontribusi hamburan pada atmosfer dan efek transmisi energi multiplikatif yang melewati atmosfer.

- *Registering an ASTER image*

Rotasi citra ASTER untuk memperbaiki parameter orbit telah menempatkan citra pada orientasi yang benar, tetapi belum menempatkan citra pada posisi yang sebenarnya di permukaan bumi. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses rektifikasi dengan menggunakan titik-titik kontrol yang diambil dari peta yang telah tergeoreferensi.

b. Sebaran Mineral Permukaan

Pengolahan citra untuk mendapatkan sebaran mineral permukaan yang mengindikasikan adanya alterasi dan mineralisasi dilakukan dengan metode *Directed Principal Components Analysis* (DPCA). Metode ini menggunakan dua input *band ratio*, *band ratio* pertama adalah *band ratio* yang memiliki informasi

mineral dan *band ratio* kedua adalah input *band ratio* yang mengandung informasi vegetasi mengingat vegetasi di daerah kajian (tropis) adalah objek yang mengganggu respon spektral dari mineral permukaan. Kedua *band ratio* ini selanjutnya menjadi input PCA (*Principal Component Analysis*). PCA digunakan untuk memprediksikan material target (mineral permukaan) yang direpresentasikan melalui tingkat kegelapan dari tiap piksel.

Pada penelitian ini mineral permukaan yang dideteksi dari citra satelit adalah klorit dan smektit-illit. Klorit adalah mineral kunci untuk alterasi propilitik dan smektit-illit merupakan mineral kunci untuk alterasi argilik. Adanya sebaran kedua jenis mineral ini menandakan adanya alterasi propilitik dan argilik.

Input *band ratio* untuk DPCA berdasarkan karakteristik respon spektral mineral dan vegetasi serta spektral *band* ASTER adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Input *Band Ratio* Citra ASTER untuk DPCA

Jenis Mineral	Input <i>Band Ratio</i> untuk DPCA
Klorit	3/2 dan 5/1
Smektit-Illit	5/2 dan 4/9

Sumber: Pengolahan Data 2012

3.4.2 Pengolahan Data Vektor

Pada penelitian ini format *shapefile* (shp) dijadikan sebagai format standar untuk pengolahan data vektor. Semua variabel yang digunakan dengan format yang beragam dikonversi kedalam format shp dahulu untuk kemudian diintegrasikan dan dianalisis dengan software GIS yang digunakan. Data-data yang dikonversi kedalam format shp diantaranya adalah:

- Data analog, data analog yang digunakan dalam penelitian ini adalah peta geologi yang tersedia dalam format *image* (jpg). Data didigitasi menjadi format vektor untuk mengekstrak data struktur dan litologi setelah sebelumnya dilakukan *georeferencing* untuk memastikan bahwa data yang diolah memiliki posisi yang akurat, sesuai dengan posisi sebenarnya di permukaan bumi,

- Peta RBI dan peta dari PT.CSD yang tersedia dalam format CAD (dwg),
- Hasil olahan citra yang berupa peta zona alterasi.

Pengolahan data vektor hampir mencakup seluruh pengolahan data spasial pada penelitian ini. Pengolahan data vektor yang dilakukan meliputi teknik *buffer*, *overlay* dan *selecting attribute (query)*. Teknik *buffer* diaplikasikan pada zona patahan (struktur geologi) untuk melihat asosiasi jarak (radius) dari patahan terhadap deposit emas. Teknik *overlay* diaplikasikan untuk mengintegrasikan variabel-variabel penduga potensi emas epitermal (litologi, struktur dan zona alterasi), sedangkan *selecting attribute* diaplikasikan untuk memilih wilayah potensi berdasarkan asosiasi tiap variabel terhadap deposit emas epitermal.

3.5 Analisis Data

Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis secara kuantitatif mengenai hubungan asosiasi antara sebaran deposit emas dengan faktor fisik wilayah yang meliputi struktur dan litologi. Analisis kualitatif mengenai hubungan keberadaan emas dan faktor fisik wilayah memang seringkali dilakukan untuk menjelaskan hubungan keduanya serta untuk memprediksi sumber deposit emas di suatu daerah. Akan tetapi, analisis kualitatif ini tidak cukup untuk melakukan prediksi keberadaan suatu deposit mineral mengingat derajat asosiasi spasial antara deposit mineral dengan faktor fisik memiliki perbedaan antar satu daerah dengan daerah lainnya.

Metode yang dipakai dalam analisis kuantitatif ini adalah pembobotan dengan metode *Weights of Evidence (WofE)*. Output dari operasi WofE adalah asosiasi antar variabel dengan bukti kejadian deposit mineral yang sudah diketahui keberadaannya di lapangan. Dalam penelitian ini bukti kejadian deposit mineral di lapangan adalah berupa titik-titik urat kuarsa yang sudah diketahui mengandung deposit emas. Asosiasi ini dilambangkan melalui nilai pada “*contrast (C)*” pada hasil operasi WofE. Nilai positif untuk asosiasi positif dan nilai negatif untuk setiap variabel yang berasosiasi kecil. Nilai signifikansi asosiasi ditunjukkan melalui nilai “*Stud(C)*”. Semakin besar nilai *Stud(C)* maka signifikansi asosiasinya semakin besar, begitu pula sebaliknya, semakin kecil nilainya maka

semakin kecil pula signifikansi asosiasinya yang berarti bahwa probabilitas kejadian mineralnya semakin kecil.

3.6. Pemetaan Potensi Deposit Emas Epitermal

Pemetaan potensi mineral (emas epitermal) pada kajian ini dilakukan dengan analisis spasial melalui teknik *overlay (union)* dan *selecting attribute (query)*. Variabel-variabel yang dijadikan input dalam teknik *overlay* ini meliputi:

- Jenis litologi,
- Jarak dari struktur geologi (patahan), dan
- Sebaran mineral permukaan

Wilayah potensi ditentukan berdasarkan gabungan dari seluruh variabel yang memiliki asosiasi positif dengan deposit emas berdasarkan metode *Weights of Evidence (WofE)* dengan sebaran mineral permukaan (zona alterasi) hasil pengolahan citra satelit. Setiap wilayah yang termasuk ke dalam variabel yang memiliki asosiasi positif dan memiliki sebaran mineral akan didefinisikan sebagai wilayah potensi deposit emas epitermal.

Wilayah potensi deposit emas epitermal dikelaskan berdasarkan tingkat asosiasi tiap variabel terhadap deposit emas dan keberadaan mineral permukaan. Wilayah potensi dibagi menjadi tiga kelas, yaitu potensi tinggi, potensi sedang dan potensi rendah. Penentuan wilayah untuk masing-masing tingkat potensi ini dilakukan dengan teknik *selecting attribute (query)* dengan rincian masing-masing kelas potensi sebagai berikut:

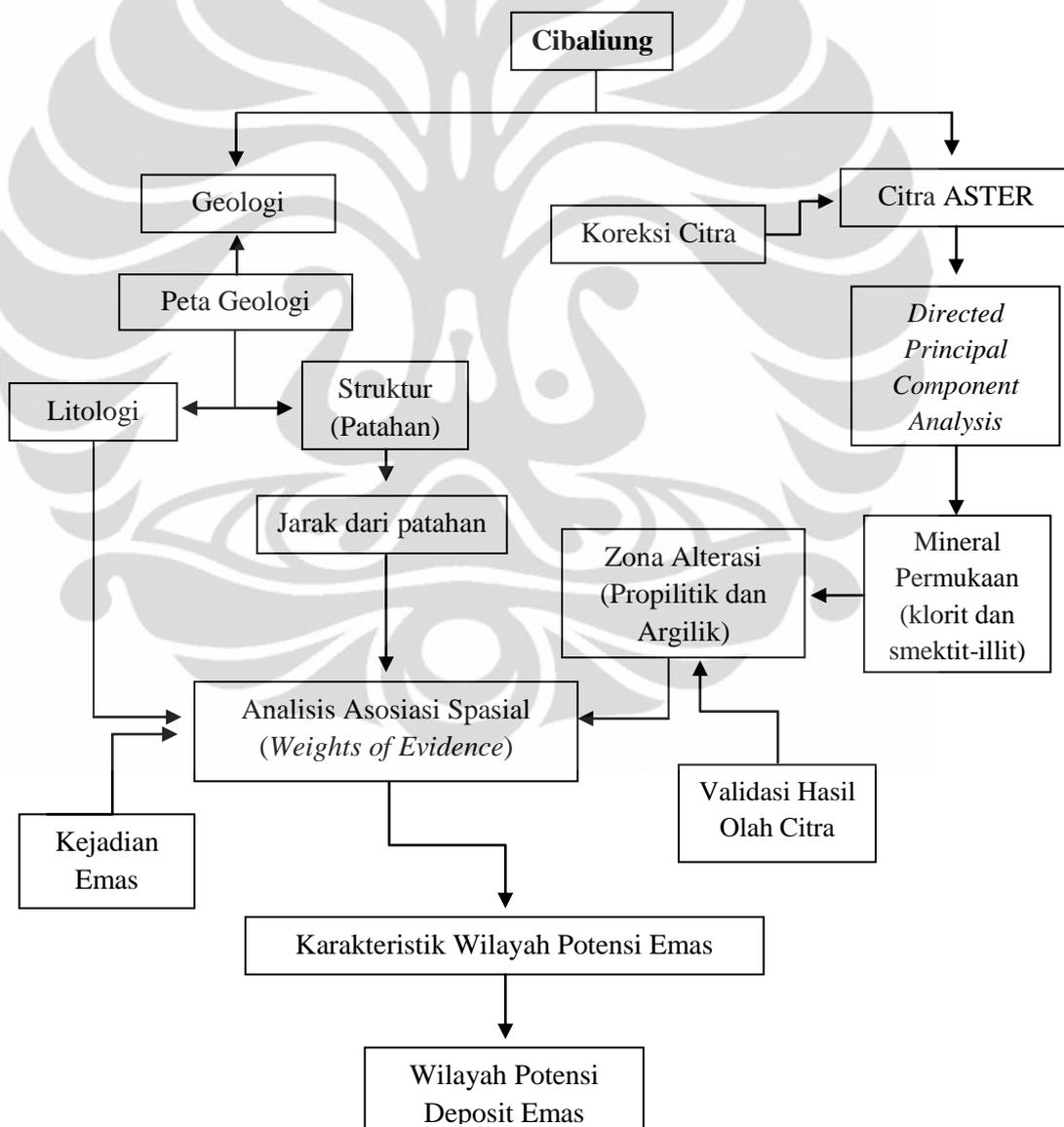
- Wilayah potensi tinggi adalah wilayah-wilayah yang memiliki jenis litologi dan jarak dari patahan yang memiliki asosiasi tinggi terhadap deposit emas serta terdapat mineral permukaan (klorit atau smektit-illit).
- Wilayah potensi sedang adalah wilayah-wilayah dengan jenis litologi yang berasosiasi tinggi terhadap deposit emas namun terdapat pada radius patahan yang nilai asosiasi terhadap deposit emasnya rendah serta terdapat mineral permukaan (klorit atau smektit-illit) atau wilayah-wilayah yang jenis litologinya berasosiasi rendah terhadap deposit emas namun

terdapat pada radius patahan yang nilai asosiasi terhadap deposit emasnya tinggi serta terdapat mineral permukaan (klorit atau smektit-illit)

- Wilayah potensi rendah adalah wilayah-wilayah yang memiliki jenis litologi dan jarak dari patahan yang memiliki asosiasi rendah terhadap deposit emas serta terdapat mineral permukaan (klorit atau smektit-illit).

3.7 Alur Kerja Penelitian

Alur kerja penelitian ini digambarkan melalui Gambar 3.2 berikut:



Gambar 3.2. Alur Kerja Penelitian

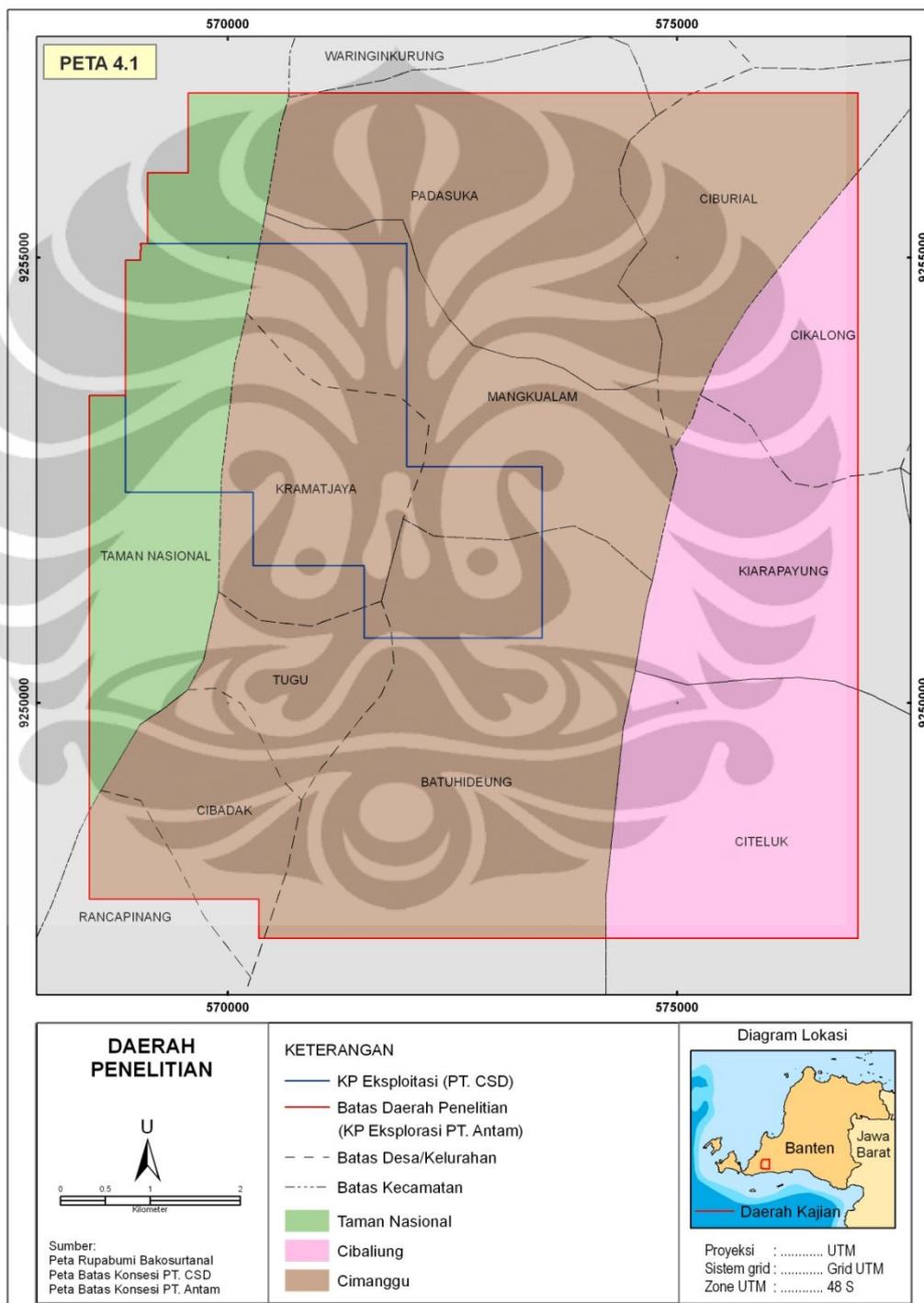
Pada penelitian ini karakteristik wilayah deposit potensi emas dan sebarannya didekati melalui keberadaan mineral permukaan dan kondisi geologi yang meliputi jenis litologi dan struktur geologi yang berupa patahan. Keberadaan mineral permukaan diperoleh dari pengolahan citra ASTER sedangkan litologi dan struktur geologi (patahan) diperoleh dari peta geologi Cibaliung yang dipetakan oleh PT. Antam.

Metode *directed principal component analysis* diaplikasikan pada citra ASTER terkoreksi untuk ekstraksi sebaran mineral klorit dan smektit-illit yang masing-masing merupakan mineral kunci untuk alterasi propilitik dan argilik. Hasil pengolahan citra ini kemudian dilakukan validasi untuk melihat tingkat akurasi. Peta geologi Cibaliung dari PT. Antam didigitasi dari untuk mendapatkan jenis litologi dan patahan. Teknik *buffer* diterapkan pada patahan untuk menarik jarak radius (jangkauan) dari tiap-tiap patahan.

Variabel yang terdiri atas sebaran mineral permukaan, litologi dan jarak dari patahan beserta titik sebaran deposit emas yang sudah diketahui kemudian dijadikan input untuk analisis *weights of evidence* untuk mendapatkan hubungan asosiasi deposit emas dengan masing-masing variabel. Output (keluaran) analisis WofE ini menghasilkan karakteristik wilayah potensi deposit emas epitermal berdasarkan variabel-variabel yang digunakan (sebaran mineral permukaan, litologi dan jarak dari patahan). Berdasarkan karakteristik wilayah potensi deposit emas epitermal ini kemudian didapatkan wilayah potensi deposit emas epitermal di Cibaliung.

BAB IV GAMBARAN UMUM DAERAH PENELITIAN

4.1 Daerah Penelitian



Peta 4.1. Peta Daerah Penelitian

Geomer atau daerah kajian penelitian ini adalah areal kuasa pertambangan (KP) PT. Aneka Tambang (Antam), yang meliputi KP Eksploitasi PT. Cibaliung Sumber daya dan KP. Eksplorasi PT. Antam yang dikenal juga dengan *Cibaliung Project*. Secara administratif, *Cibaliung Project* terletak di Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten, Indonesia. Areal seluas kurang lebih 7.814,48 Ha ini berada di sebelas desa di dua kecamatan, yaitu Kecamatan Cibaliung dan Kecamatan Cimanggu. Di Kecamatan Cibaliung, KP ini terletak di Desa Cikalong, Kiarapayung dan Citeluk, sedangkan di Kecamatan Cimanggu, KP ini terletak di Desa Padasuka, Ciburial, Mangkualam, Kramatjaya, Tugu, Cibadak, Rancapinang dan Batuhideung (Peta 4.1).

4.2. Geomorfologi

Daerah penelitian terletak di Pulau Jawa Bagian Barat. Zona ini terbagi ke dalam tujuh fisiografi utama (van Bemmelen, 1949), yaitu:

- a. Vulkan-vulkan berusia kuarter (*Quaternary volcanoes*)
- b. Dataran Alluvial Jawa Utara (*Alluvial Plains Northern Java*)
- c. Antiklinorium Rembang - Madura (*Rembang - Madura Anticlinorium*)
- d. Antiklinorium Bogor, Serayu Utara dan Antiklinorium Kendeng (*Bogor, North - Serayu, and Kendeng - Anticlinorium*)
- e. Dome dan Igir di Zona Depresi Sentral (*Dome and Ridges in the Central Depression Zone*)
- f. Zona Depresi Sentral Jawa dan Zone Randublatung (*Central Depression zone of Java, and Randublatung Zone*)
- g. Pegunungan Selatan (*Southern Mountains*)

Daerah ini kajian hampir seluruhnya berada di zona Dome dan igir di Zona Depresi Sentral atau *Dome and Ridges in the Central Depression Zone*. Daerah ini berupa pegunungan. Di Jawa Barat pegunungan yang dimaksud berupa pegunungan Bayah yang memanjang dari Ujung Kulon sampai di selatan Sukabumi. Bagian tepi selatan Pegunungan Bayah ini menyentuh laut. Di Jawa Tengah, berupa pegunungan Serayu Selatan yang memanjang dari Majenang sampai ke Pegunungan Kulonprogo. Sebagian kecil daerah kajian, yaitu ujung

selatan bagian barat termasuk kedalam zona Zona Depresi Sentral Jawa dan Zone Randublatung (*Central depression zone of java, and Randublatung Zona*). Zona ini merupakan deretan Vulkan-vulkan. Di Jawa Barat, zona ini merupakan vulkan-vulkan dalam posisi melingkar, seperti Gunung Patuhi, Gunung Tilu, Gunung Malabar, Gunung Mandalawangi, Gunung Talangabodas, Gunung Bukittunggal, Gunung Burangrang dan Gunung Tangkuban Perahu.

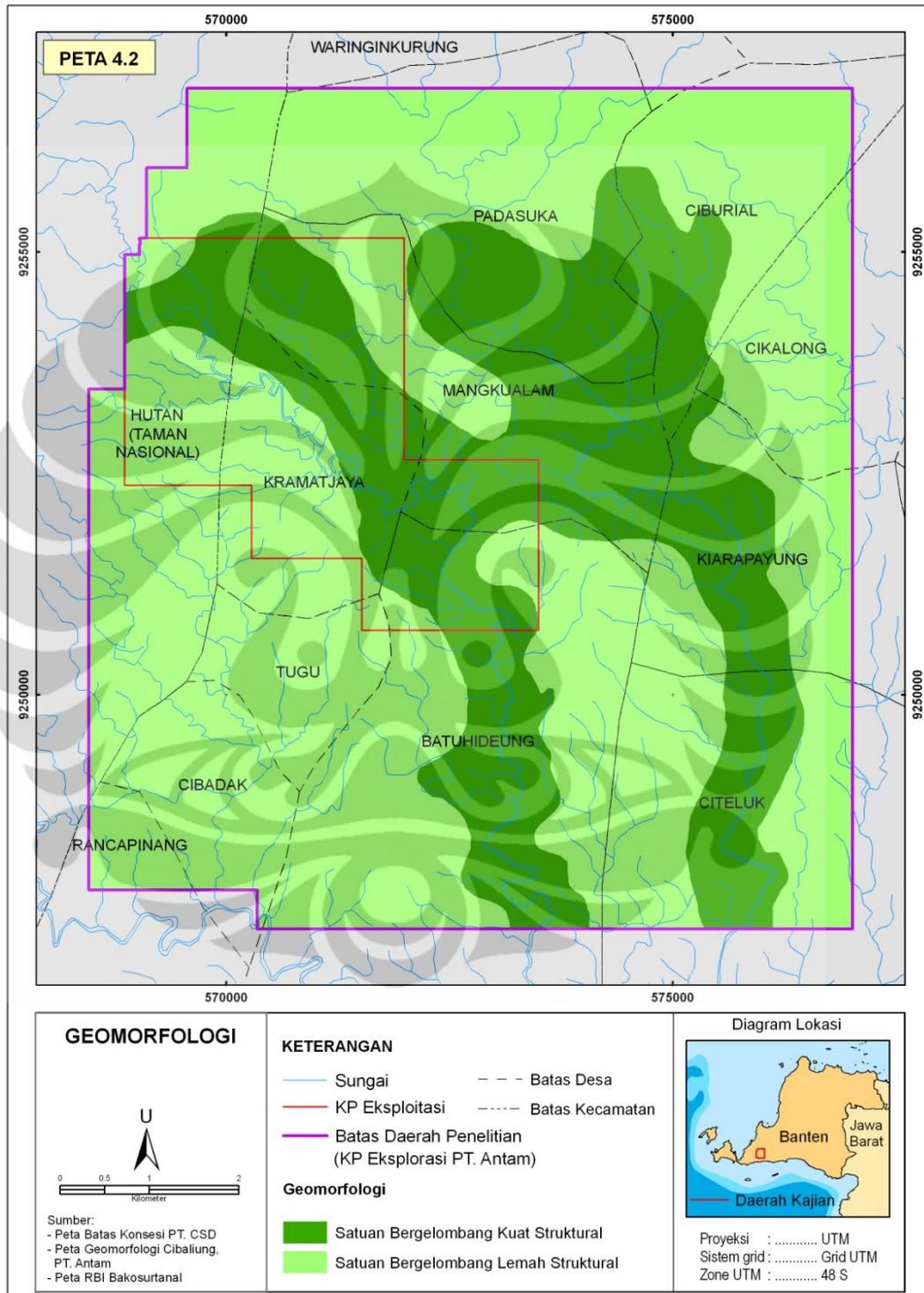
Berkaitan dengan zona Jawa Bagian Barat, Pannekoek (1946), membagi morfologi zona ini menjadi tiga bagian, yaitu:

1. Zona Utara terdiri atas daerah lipatan, endapan kipas alluvial, jalur peneplain, Gunung Ciremei, Kompleks Gunung Tangkuban Perahu, dan Kompleks Pegunungan di Banten.
2. Zona Tengah merupakan zona depresi yang diisi endapan vulkanik muda. Pada zona ini terdapat lipatan menjungkir atau membentuk struktur yang menjorok (*thrusting*) yang menyebabkan batuan tersier tertutup.
3. Zona Selatan (daerah kajian termasuk ke dalam zona ini) merupakan dataran tinggi yang luas yang memanjang dari Kabupaten Sukabumi (sebenarnya merupakan suatu plato yang memiliki lereng ke Samudera Hindia dengan bentuk tebing patahan/*escarpment* pada bagian utaranya, namun sudah terkikis, sehingga tidak terlihat lagi platonya) sampai ke timur yaitu Karangnunggal *section* atau plato Karangnunggal. Secara geologis, endapan yang muda yaitu meosen atas terdiri atas breksi andesit seri batuan Pegunungan Besar, tuf putih laut dan batuan pasir masih utuh dengan dip teratur ke selatan.

Daerah kajian rata-rata berada di ketinggian 10 hingga 300 m dpl (di atas permukaan laut) dengan dominasi lereng antara 0-8%. Berdasarkan peta Geomorfologi Daerah Cibaliung (PT. Antam) daerah kajian termasuk kedalam satuan struktural bergelombang. Satuan ini terbagi menjadi dua kelas, yaitu Satuan bergelombang kuat struktural dan satuan bergelombang lemah struktural.

Satuan bergelombang lemah struktural mendominasi daerah kajian. Satuan geomorfologi ini mengelilingi seluruh wilayah kajian, sedangkan di bagian

tengahnya daerah kajian termasuk ke dalam satuan bergelombang kuat struktural. Satuan geomorfologi daerah kajian dapat dilihat pada peta 4.2.



Peta 4.2. Geomorfologi Daerah Penelitian



Gambar 4.1. Morfologi Daerah Kajian

[Sumber: Dokumentasi Tahun 2012]

Gambar 4.1 merupakan gambaran morfologi daerah kajian yang berupa satuan bergelombang kuat struktural. Satuan bergelombang yang terbentuk akibat aktifitas tektonik ini menjari serupa garis diagonal berarah barat laut-tenggara. Foto di atas diambil di Desa Padasuka yang terletak di sebelah timur KP. Eksploitasi.

4.3. Kondisi Geologi

Jawa terletak pada *Sunda Volcanic Arc* yang memanjang dari ujung Sumatera melewati Jawa dan Bali, dan terus berlanjut hingga Indonesia bagian timur. Jawa

Bagian Barat sendiri terletak pada zona transisi antara subduksi miring di bagian barat dan subduksi normal di bagian timur. Area ini dibatasi oleh sesar Cimandiri dan sesar Ujung Kulon. Kedua struktur utama inilah yang mengontrol sebagian besar kelurusan di daerah ini (Malod, Karta, Beslier dan Zen, 1995 dalam Harijoko, Yukiko, Yoshinobu, Akira dan Koichiro, 2007).

Daerah *volcanic arc* merupakan daerah yang memiliki potensi mineral tinggi. Hasil kegiatan eksplorasi bahan galian logam yang dilakukan oleh Subdit. Eksplorasi Mineral Logam, Direktorat Sumberdaya Mineral di sepanjang Busur Sunda-Banda sejak tahun 1988 menunjukkan temuan-temuan baru daerah mineralisasi logam emas, logam dasar dan timah yang patut mendapat perhatian untuk ditindak lanjuti (Suharto, 2000). Cibaliung yang terletak di zona *magmatic arc* (gambar 4.2) merupakan wilayah memiliki yang potensi mineral tinggi, termasuk emas.



Gambar 4.2. Zona *Magmatic Arc* di Indonesia (Basuki (1994) dalam Artadana (2011))

4.3.1 Litologi

Kondisi geologi daerah kajian secara *general* pernah dikaji oleh Sudana dan Santosa (1992) yang diterbitkan melalui Peta Geologi Lembar Cikarang (lembar

1109-2) skala 1: 100.000 oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Berdasarkan hasil kajian Sudana dan Santosa (1992), daerah kajian terdiri atas dua formasi utama, yaitu yaitu Formasi Honje yang merupakan batuan gunung api dan Formasi Bojongmanik yang merupakan batuan sedimen.

Formasi Honje: Formasi Honje berlokasi tipe di Pegunungan Honje, Cimanggu, Banten Selatan

Breksi gunungapi, tuf, lava andesit-basal dan kayu terkarsikan. Breksi gunungapi, berwarna kelabu, coklat, hitam dan kemerahan. Komponen berukuran kerikil hingga bongkahan, bentuk menyudut hingga membulat tanggung; terdiri atas andesit, basalt porfiri, kuarsa, silika, kalsedon, obsidian, batuapung dan kayu terkarsikan; tertanam dalam masa dasar tuf pasir halus hingga kasar. Setempat terdapat urat kuarsa tipis bermineral sulfida atau bijih.

Formasi ini diduga berumur Mioosen Akhir berdasarkan sebagian dari satuan ini yang menjemari dengan Formasi Bojongmanik. Tebal Formasi Honje diperkirakan berkisar dari 500 m sampai 600 m. Sebarannya terdapat di bagian barat Lembar sekitar Gunung Honje, Gunung Tilu dan daerah Citeureup; setempat diterobos batuan andesit-basal.

Formasi Bojongmanik : Perselingan batuan pasir dan batu lempung bersisipan napal, batugamping, konglomerat, tuf dan lignit.

Batupasir, berwarna kelabu, kuning kotor kecoklatan dan kehijauan, gampingan, berbutir halus hingga kasar, berkomponen menyudut hingga membulat tanggung, terpilah sedang; kesarangannya kurang baik, mengandung mineral mafik, felspar, kalsit, kuarsa dan glaukonit; fosil foram, moluska; berstruktur berlapisan bersusun dan silang siur, setempat terdapat lensa batugamping dengan cangkang kerang. Tebal formasi ini diperkirakan mencapai 400 m. Formasi Bojongmanik menjemari dengan Formasi Honje dan tertindih Formasi Cipacar dan Formasi Bojong.

Berdasarkan peta geologi Cibaliung detail yang dipetakan oleh PT. Antam, litologi daerah kajian terdiri atas lima litologi utama, yaitu andesit, basal,

batuhaming, breksi, endapan kristal-pasir kuarter dan tuff. Peta geologi detail ini belum mencakup seluruh daerah kajian, terdapat beberapa lokasi yang belum dipetakan, terutama di bagian utara daerah kajian sehingga peta geologi detail ini dipadukan dengan peta geologi lembar Cikarang terbitan Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (Peta 4.3). Keterangan untuk masing-masing litologi adalah sebagai berikut:

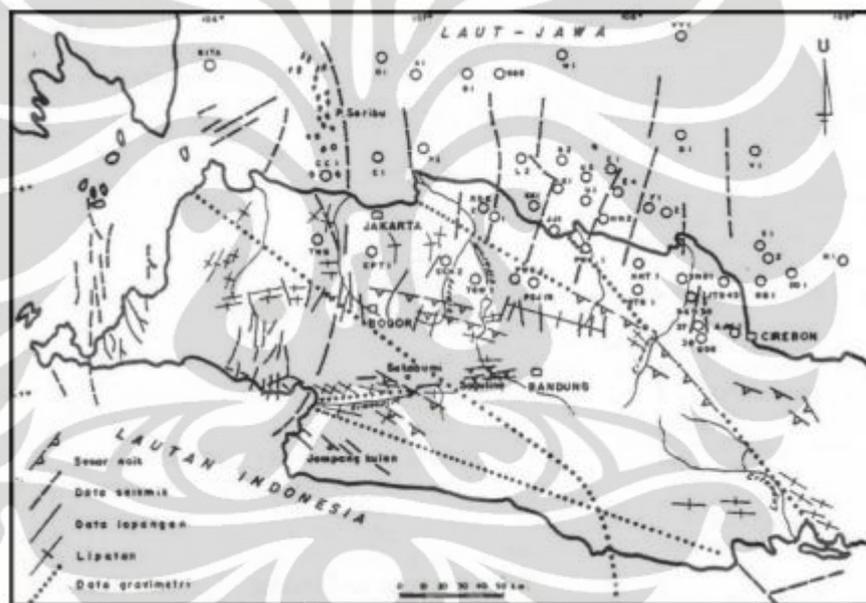
- a. Andesit, berwarna kelabu tua dan kelabu kehijauan, sangat pejal, bertekstur porfiri dengan fenokris amfibol dan piroksen. Di daerah kajian batuan andesit ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu andesit afanitik dan andesit porfiritik.
- b. Basal, kelabu tua-kehitaman, berkristal halus, afanitik, sedikit porfiri; bermatrik gelas.
- c. Breksi, berwarna kelabu, coklat, hitam dan kemerahan. Komponennya berukuran kerikil hingga bongkah, berbentuk menyudut hingga membulat tanggung, terdiri dari andesit, basal, kuarsa, obsidian dan batuapung. Di daerah kajian batuan breksi ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu breksi andesit dan breksi polimik.
- d. Endapan kristal-pasir kuarter, berwarna kelabu, kuning kotor kecoklatan dan kehijauan, gampingan, berbutir halus hingga kasar, berkomponen menyudut hingga membulat tanggung, terpilah sedang; kesarangannya kurang baik, mengandung mineral mafik, felspar, kalsit, kuarsa dan glokonit; fosil foram, moluska; berstruktur perlapisan bersusun dan silang siur, setempat terdapat lensa batugamping dengan cangkang kerang.
- e. Tuff, berwarna putih kelabu, pasiran, berbutir halus hingga kasar berlapis baik, mengandung batuapung, kuarsa, gelas dan sisa tumbuhan. Tebal lapisan beberapa sentimeter hingga beberapa puluh sentimeter. Di daerah kajian, terdapat dua macam batuan tuff, yaitu tuff kristal-ash dan tuff litik.

4.3.2 Struktur Geologi

Kelurusan struktur di Pulau Jawa terdiri atas tiga pola utama, yaitu Pola Meratus, Pola Sunda dan Pola Jawa (Pulonggono dan Martodjo, 1994 dalam Asri, 2011). Pola-pola kelurusan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.3.

a. Pola Meratus

Pola Meratus memiliki arah timurlaut-baratdaya atau *Northeast-Southwest* (NE-SW). Pola ini diwakili oleh sesar Cimandiri di Jawa Barat, yang dapat diikuti ke timurlaut sampai batas timur Cekungan Zaitin dan Cekungan Biliton. Pola ini merupakan pola tertua di Pulau Jawa dan sesar-sesar di pola ini diketahui berumur Kapur-Paleosen. Tatanan tektonik kompresif oleh adanya lempeng Samudra Hindia yang menunjam ke bawah Paparan Sunda menjadi penyebab sesar-sesar pada pola ini adalah pola sesar mendatar.



Gambar 4.3. Pola Umum Kelurusan Struktur di Jawa Barat (Pulunggono dan Martodjojo (1994) dalam Asri 2011)

b. Pola Sunda

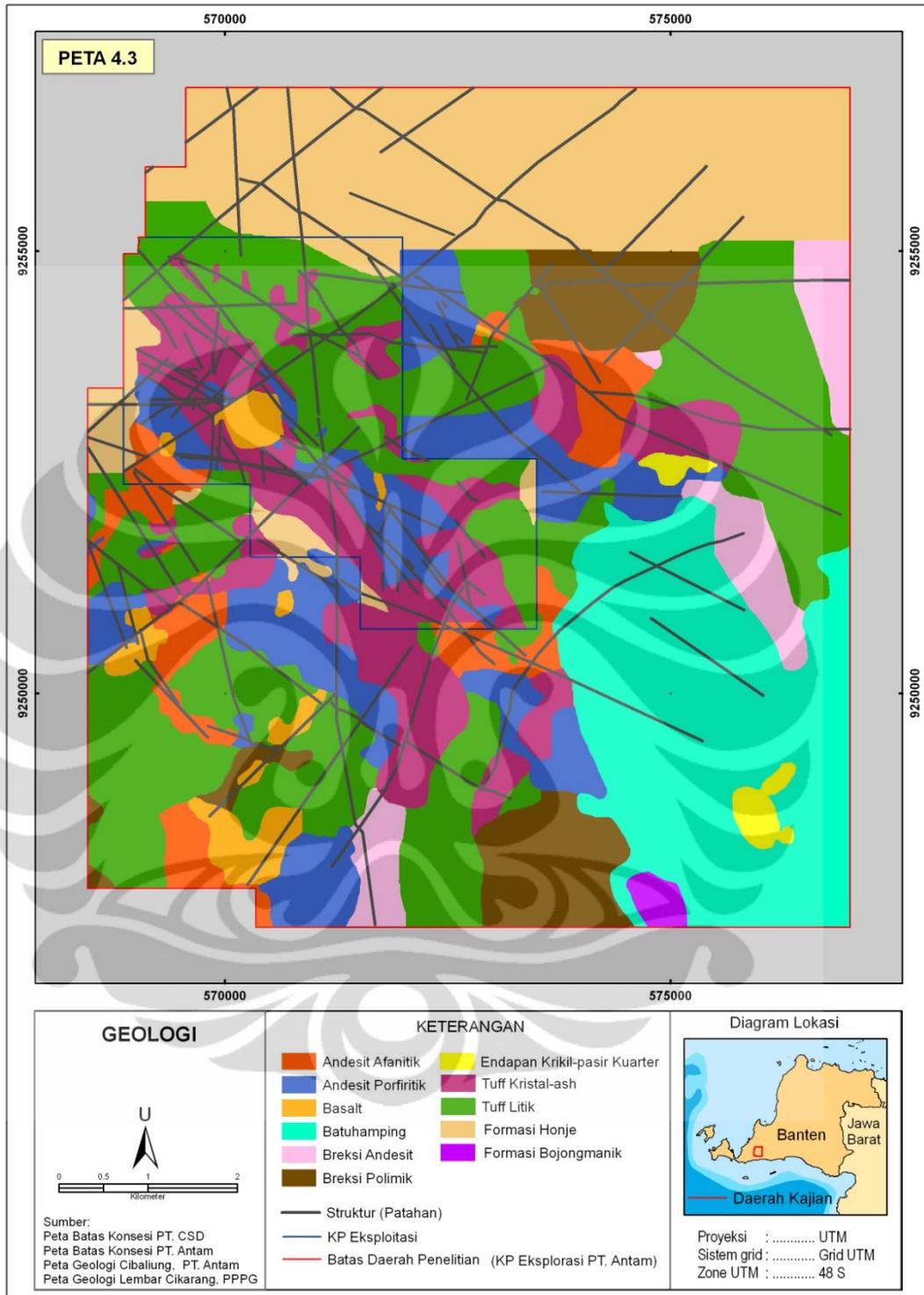
Pola Sunda dijabarkan oleh sesar-sesar yang berarah utara-selatan. Pola ini umumnya terdapat di bagian barat wilayah Jawa Barat. Pola ini diperkirakan berumur Eosen Akhir-Oligosen Akhir, sehingga umurnya lebih muda dari Pola Meratus.

c. Pola Jawa

Pola Jawa adalah kelurusan yang berarah barat-timur. Pola ini umumnya dominan di Pulau Jawa. Pola ini merupakan pola termuda yang mengaktifkan kembali seluruh pola yang ada sebelumnya yang prosesnya masih aktif sampai sekarang. Disebutkan pula bahwa pola ini diakibatkan oleh tunjaman baru di Selatan Jawa yang mengaktifkan Pulau Jawa dan mengalami kompresi.

Struktur utama di daerah kajian sebagian besar berpola Meratus, yaitu berarah timur laut-barat daya. Struktur berpola Jawa dan Sunda hanya sedikit dijumpai di searah kajian, dimana pola sunda memanjang dari utara hingga selatan sepanjang daerah kajian (peta 4.3).

Di daerah kajian juga dijumpai pola lain di luar pola umum kelurusan di Pulau Jawa, yaitu kelurusan berarah baratlaut-tenggara. Pola ini tersebar merata di daerah kajian dan seringkali memotong struktur lainnya. Lebih jauh Sudana dan Santosa (1992) juga menyatakan bahwa struktur berarah baratlaut-tenggara bersama dengan struktur berarah baratlaut-tenggara merupakan pola utama kelurusan pada geologi lembar Cikarang.



Peta 4.3. Geologi Detail Cibaliung

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Sebaran Zona Alterasi

Zona alterasi didapatkan dari pengolahan citra ASTER dengan metode *directed principal component analysis* (DPCA). Metode penajaman citra ini digunakan untuk mendeteksi keberadaan mineral permukaan yang merupakan petunjuk terjadinya alterasi di suatu daerah. Alterasi sendiri merupakan indikator adanya mineralisasi hidrotermal yang menghasilkan deposit emas epitermal. Mineral permukaan yang dijadikan indikator alterasi dan mineralisasi pada penelitian ini adalah klorit dan smektit-illit.

5.1.1 Sebaran Alterasi Propilitik

Alterasi propilitik dipetakan berdasarkan sebaran mineral klorit yang merupakan mineral kunci pada jenis alterasi ini. Input *band ratio* yang digunakan dalam mendeteksi mineral klorit ini adalah *band 3/2* dan *band 5/1* (Tabel 5.1). *Band 3/2* merupakan input yang memiliki informasi mengenai vegetasi yang merupakan material yang dianggap “pengganggu” karena menghalangi respon spektral mineral, sedangkan *band 5/1* adalah input yang memiliki informasi mengenai mineral yang diteliti (klorit). Pada DPC2 kedua input sama-sama bernilai positif. Ini menandakan bahwa pada DPC2 vegetasi dan mineral tidak dapat dibedakan. Pada DPC1, kedua input memiliki nilai yang kontras, input 1 (*band 3/2*) memiliki nilai positif, sedangkan input 2 (*band 5/1*) memiliki nilai negatif (-). Hal ini menandakan bahwa vegetasi dan mineral pada DPC1 bisa dibedakan, sehingga DPC inilah yang digunakan untuk ekstraksi sebaran mineral klorit.

Gambar 5.1 menampilkan hasil olah citra ASTER untuk mendapatkan sebaran mineral klorit. Pada gambar ditunjukkan citra yang belum diolah, masing-masing *band ratio* yang dijadikan input PCA (*principal component analysis*) dan tampilan *gray scale* DPC1. DPC1 merupakan output akhir pengolahan citra ASTER yang berisi informasi sebaran mineral permukaan.

Tabel 5.1. *Directed Principal Component Analysis* dari *Band Ratio* Citra ASTER untuk Sebaran Mineral Klorit

<i>Principal Components</i>	<i>Eigenvectors</i>		<i>Eigenvalues (%)</i>
	<i>Band 3 : Band 2</i>	<i>Band 5 : Band 1</i>	
DPC1	0,788	-0,616	77,44
DPC2	0,616	0,788	22,56

Sumber: Pengolahan Data 2012

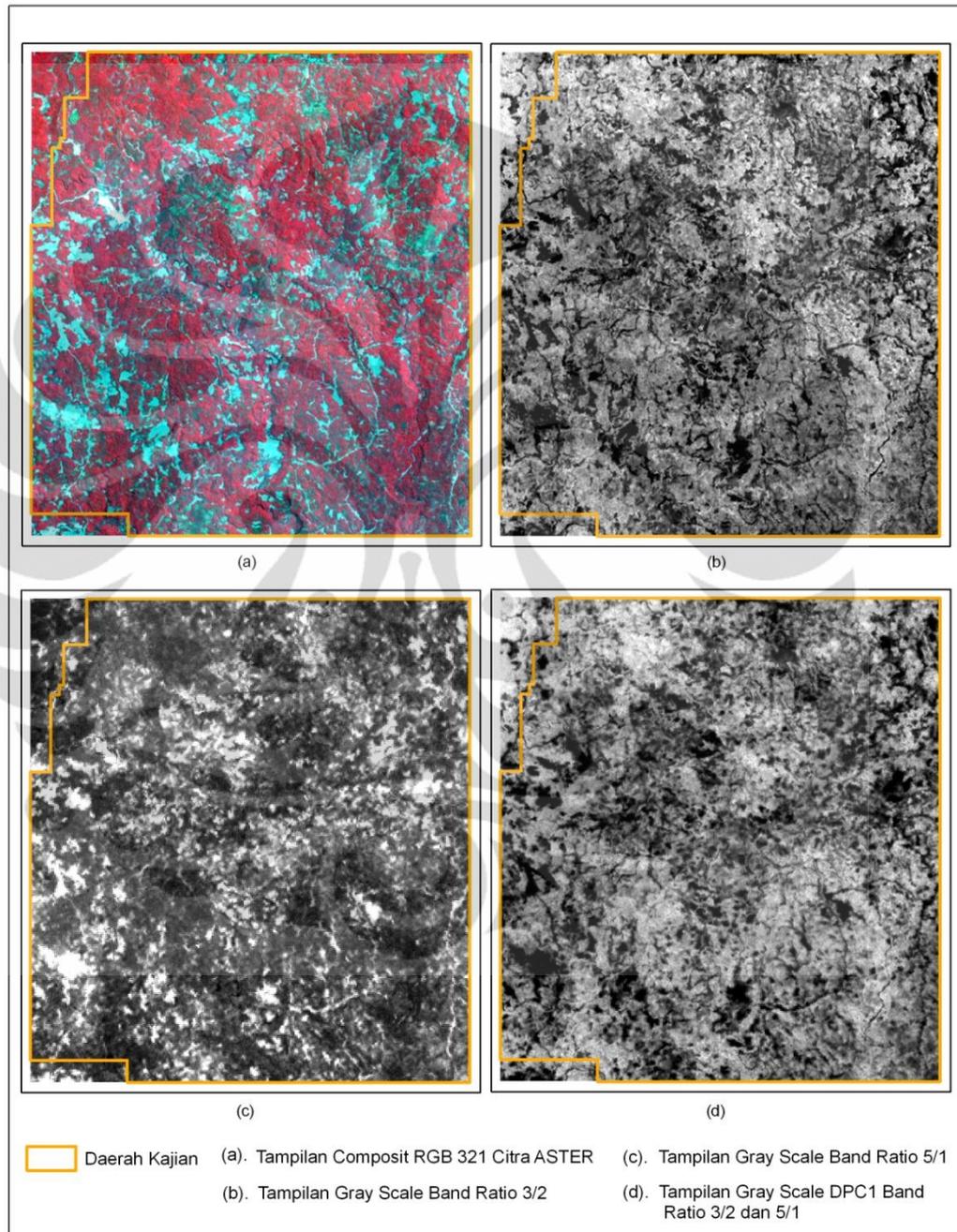
Gambar 5.1a merupakan tampilan komposit citra ASTER daerah kajian dalam bentuk RGB (*Red Green Blue*) 321. Citra komposit ini belum dilakukan pengolahan lebih lanjut, tetapi telah melalui tahapan koreksi citra atau tahapan pra pengolahan citra. Gambar 5.1b menunjukkan tampilan *gray scale* dari *ratio band* 3/2 yang merupakan *band ratio* untuk meninggikan respon spektral vegetasi, Warna terang pada *ratio band* ini menunjukkan tutupan vegetasi sedangkan warna gelap menunjukkan tutupan non-vegetasi.

Gambar 5.1c menampilkan *gray scale* dari *band ratio* 5/1. *Ratio band* ini mengandung informasi sebaran mineral klorit. Mineral pada Gambar 5.1c ditunjukkan oleh warna terang, sedangkan warna gelap merupakan tampilan non-mineral. Gambar 5.1d merupakan tampilan *gray scale* DPC1 dengan input *band ratio* 3/2 dan 5/1. Nilai negatif untuk input 5/1 pada DPC1 (Tabel 5.1) mengindikasikan bahwa mineral klorit pada DPC ini ditampilkan dalam warna gelap sedangkan non-klorit ditampilkan dalam warna terang.

Peta 5.1 merupakan peta sebaran mineral klorit atau zona alterasi propilitik hasil pengolahan citra ASTER dengan metode DPCA. Peta ini merupakan tampilan lain dari Gambar 5.1d. Berdasarkan Peta 5.1, mineral klorit tersebar di seluruh daerah kajian. Seluruh desa di daerah kajian yang meliputi Desa Cikalong, Kiarapayung, Citeluk, Padasuka, Ciburial, Mangkualam, Kramatjaya, Tugu, Cibadak, Rancapinang, Waringinkurung dan Batuhideung terindikasi mengalami alterasi propilitik.

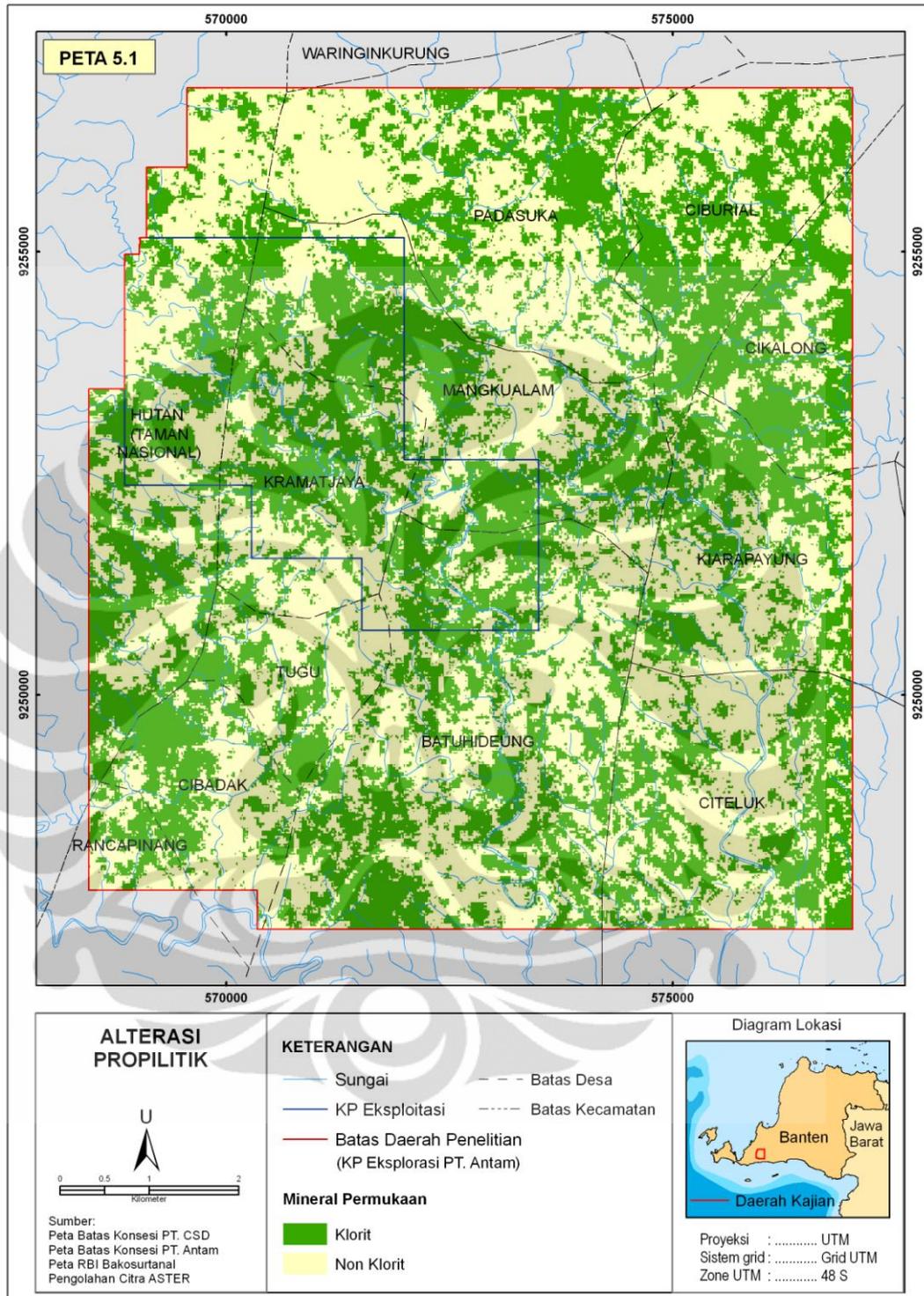
Proporsi terbesar sebaran mineral ini terletak di bagian barat daerah kajian, terutama di desa Mangkualam dan Keramat Jaya yang merupakan KP eksploitasi. Selain di bagian barat, mineral klorit juga banyak terdapat di bagian timur daerah

kajian, terutama di Desa Cikalong dan Kiarapayung. Selain dari desa-desa yang disebutkan di atas, mineral klorit terdapat merata di seluruh daerah kajian.



Gambar 5.1. Hasil Olah Citra ASTER untuk Mendapatkan Sebaran Mineral Klorit

[Sumber: Pengolahan Data 2012]



Peta 5.1. Sebaran Mineral Klorit (Alterasi Propilitik)

Untuk mengetahui tingkat akurasi sebaran mineral permukaan berdasarkan metode DPCA, digunakan metode *confusion matrix*. Akurasi pada dasarnya merupakan perbandingan antara data hasil pengolahan citra satelit dengan kondisi sebenarnya. Pada penelitian ini data hasil pengolahan citra satelit yang digunakan

adalah data sebaran mineral permukaan dan data yang dianggap acuan atau referensi adalah peta zona alterasi yang dipetakan oleh PT. Antam.

Metode *confusion matrix* menghasilkan dua keluaran utama, yaitu *overall accuracy* dan Khat. *Overall accuracy* merupakan tingkat akurasi pengolahan citra dibandingkan dengan kondisi yang sebenarnya, minimum nilai *overall accuracy* dapat diterima adalah 85 persen (Anderson, Hardy, Roach dan Witner, 1976 dalam Carranza dan Hale, 2001). Sedangkan Khat menunjukkan tingkat kepercayaan (*agreement*) hasil pengolahan citra dengan data referensi berdasarkan analisis kappa. Nilai Khat lebih dari 0,8 menunjukkan tingkat kepercayaan tinggi, nilai lebih kecil dari 0,4 menunjukkan tingkat kepercayaan sedang dan nilai antara 0,4-0,8 menunjukkan tingkat kepercayaan rendah (Landies dan Koch, 1997 dalam Carranza dan Hale, 2001).

Uji akurasi sebaran mineral klorit dilakukan pada 442 titik (piksel) yang dipilih secara acak. Titik yang diambil meliputi titik klorit dan non klorit (mengandung dan tidak menandung klorit) menurut metode DPCA. Tabel 5.2 menunjukkan tingkat akurasi sebaran mineral klorit.

Tabel 5.2. Tingkat Akurasi Sebaran Mineral Klorit Melalui Metode DPCA

Alterasi	Mineral Permukaan	
	Klorit	Non Klorit
Proilitik	324	25
Non Propilitik	38	55
Total	362	80
<i>Overall Accuracy: 86 %</i>		
Khat = 2,72		

Sumber: Pengolahan Data 2012

Berdasarkan Tabel 5.2, dapat diketahui bahwa tingkat akurasi sebaran mineral klorit dengan metode DPCA adalah 86 persen, dengan Khat sebesar 2,72. *Overall accuracy* sebesar 86 persen menunjukkan bahwa pemetaan sebaran mineral klorit (alterasi propilitik) dengan metode DPCA dapat diterima. Khat sebesar 2,72 menunjukkan bahwa dengan metode yang sama memiliki tingkat kepercayaan yang tinggi dalam memetakan sebaran mineral klorit.

5.1.2 Sebaran Alterasi Argilik

Alterasi argilik dipetakan berdasarkan sebaran mineral kuncinya, yaitu mineral smektit-illit. Input *band ratio* yang digunakan dalam mendeteksi mineral ini adalah *band 5/2* dan *band 4/9* (Tabel 5.3). *Band 5/2* merupakan input yang memiliki informasi mengenai vegetasi yang dalam penelitian ini dianggap sebagai “pengganggu”, sedangkan *band 4/9* adalah input yang memiliki informasi mengenai mineral dijadikan objek kajian.

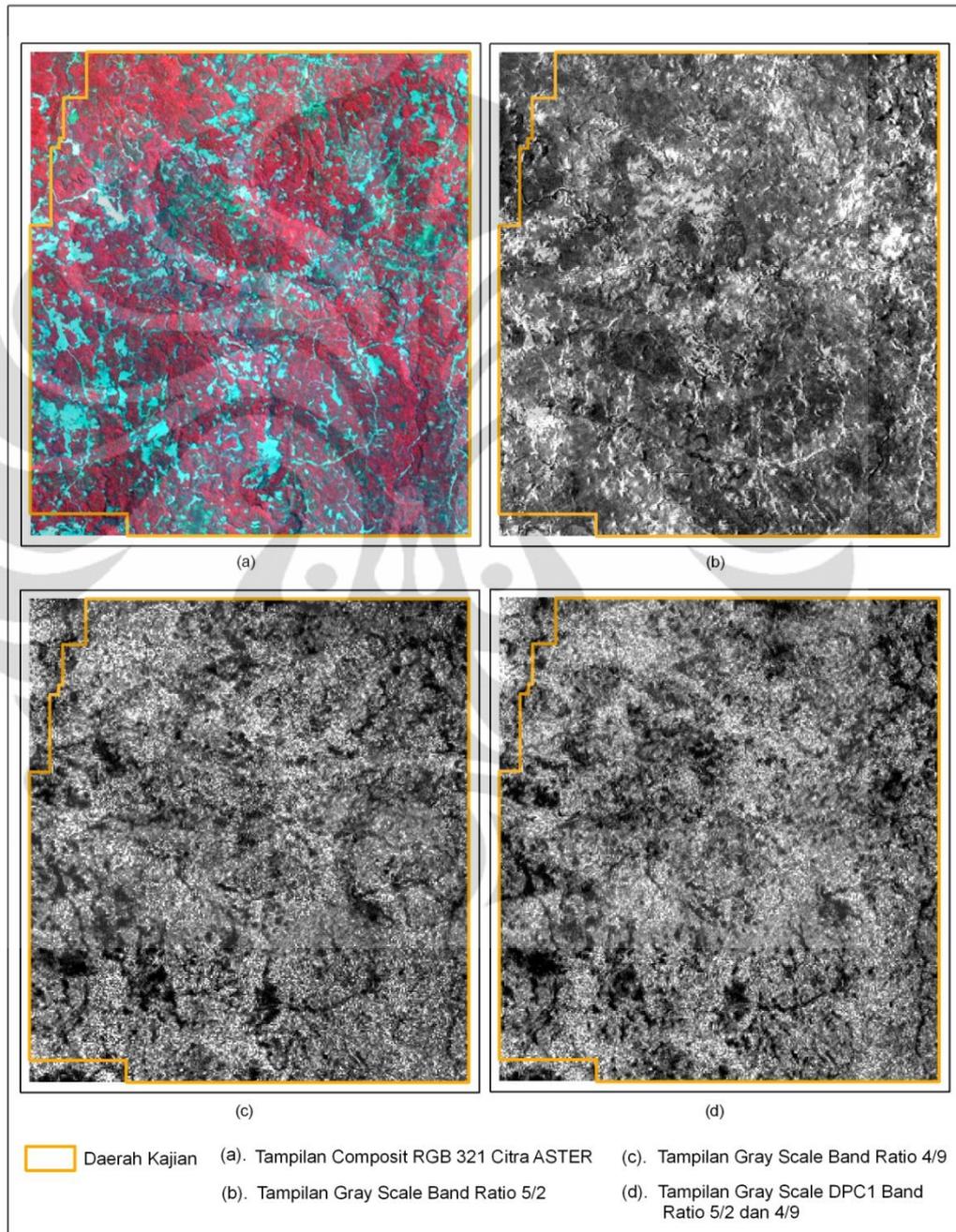
Pada DPC2 menunjukkan nilai positif untuk kedua input. Ini memberikan pengertian bahwa pada DPC2 vegetasi dan smektit-illit tidak dapat dibedakan. Pada DPC1, kedua input memiliki nilai yang kontras, input 1 (*band 5/2*) memiliki nilai positif, sedangkan input 2 (*band 4/9*) memiliki nilai negatif (-). Input inilah yang kemudian digunakan untuk ekstraksi mineral dari vegetasi karena pada input ini kedua objek bisa dibedakan.

Tampilan tahapan pengolahan citra ASTER untuk mendapatkan sebaran mineral smektit-illit ditunjukkan pada Gambar 5.2. Gambar 5.2a menunjukkan citra ASTER yang belum diolah lebih lanjut, Gambar 5.2b merupakan tampilan *gray scale band ratio 5/2*, Gambar 5.2c adalah tampilan *gray scale band ratio 4/9* dan Gambar 5.2d menampilkan *gray scale DPCA1* untuk *band ratio 5/2* dan *4/9*.

Sama halnya dengan Gambar 5.2a, Gambar 5.2b merupakan tampilan komposit citra ASTER daerah kajian dalam bentuk RGB 321. Citra komposit ini telah melalui tahapan pra pengolahan tetapi belum diolah lebih lanjut. Gambar 5.2b merupakan tampilan *gray scale* dari *ratio band 5/2*. *Band ratio* ini merupakan *band ratio* untuk meninggikan respon spektral vegetasi. Pada *band ratio* ini, vegetasi ditampilkan dengan warna gelap dan non-vegetasi ditampilkan dengan warna terang.

Gambar 5.2c menampilkan *gray scale* dari *band ratio 4/9*, yang merupakan *ratio band* untuk meninggikan respon spektral mineral klorit. Smektit-illit pada Gambar 5.2c ditunjukkan oleh warna gelap, sedangkan warna terang merupakan tampilan non-smektit-illit. Gambar 5.2d adalah tampilan *gray scale DPC1* dengan input *band ratio 5/2* dan *4/9*. Input *band ratio 4/9* yang memiliki nilai negatif pada

DPC1 mengindikasikan bahwa mineral smektit-illit pada DPC ini ditampilkan dalam warna gelap sedangkan non-smektit-illit ditampilkan dalam warna terang. Tampilan lain Gambar 5.2d yang menggambarkan sebaran mineral smektit-illit ditampilkan dalam Peta 5.2.



Gambar 5.2. Hasil Olah Citra ASTER untuk Mendapatkan Sebaran Mineral Smektit-Illit

[Sumber: Pengolahan Data 2012]

Tabel 5.3. *Directed Principal Component Analysis* dari *Band Ratio* Citra ASTER untuk Sebaran Mineral Smektit-Illit

<i>Principal Components</i>	<i>Eigenvectors</i>		<i>Eigenvalues (%)</i>
	<i>Band 5 : Band 2</i>	<i>Band 4 : Band 9</i>	
DPC1	0,618	-0,786	60,41
DPC2	-0,786	-0,618	39,59

Sumber: Pengolahan Data 2012

Lain halnya dengan mineral klorit, alterasi argilik yang ditandai keberadaan mineral ubahan smektit-illit hanya sedikit terdeteksi di KP. Eksploitasi. Meskipun keberadaannya menyebar di seluruh daerah kajian, sebarannya berbeda dengan sebaran mineral klorit. Mineral smektit-illit lebih banyak tersebar di bagian utara dan selatan.

Di utara, zona teralterasi argilik sebagian besar terdapat di Desa Padasuka. Sedangkan di bagian selatan, zona yang sama sebagian besar berada di Desa Batuhideung dan Citeluk. Selain desa-desa yang disebutkan diatas, zona teralterasi argilik tersebar merata di seluruh daerah kajian.

Uji akurasi sebaran mineral klorit dilakukan pada 437 titik (piksel) yang dipilih secara acak. Titik yang diambil meliputi titik smektit-illit dan non smektit-illit (mengandung dan tidak menandung smektit-illit) menurut metode DPCA. Tabel 5.4 menunjukkan tingkat akurasi sebaran mineral smektit-illit.

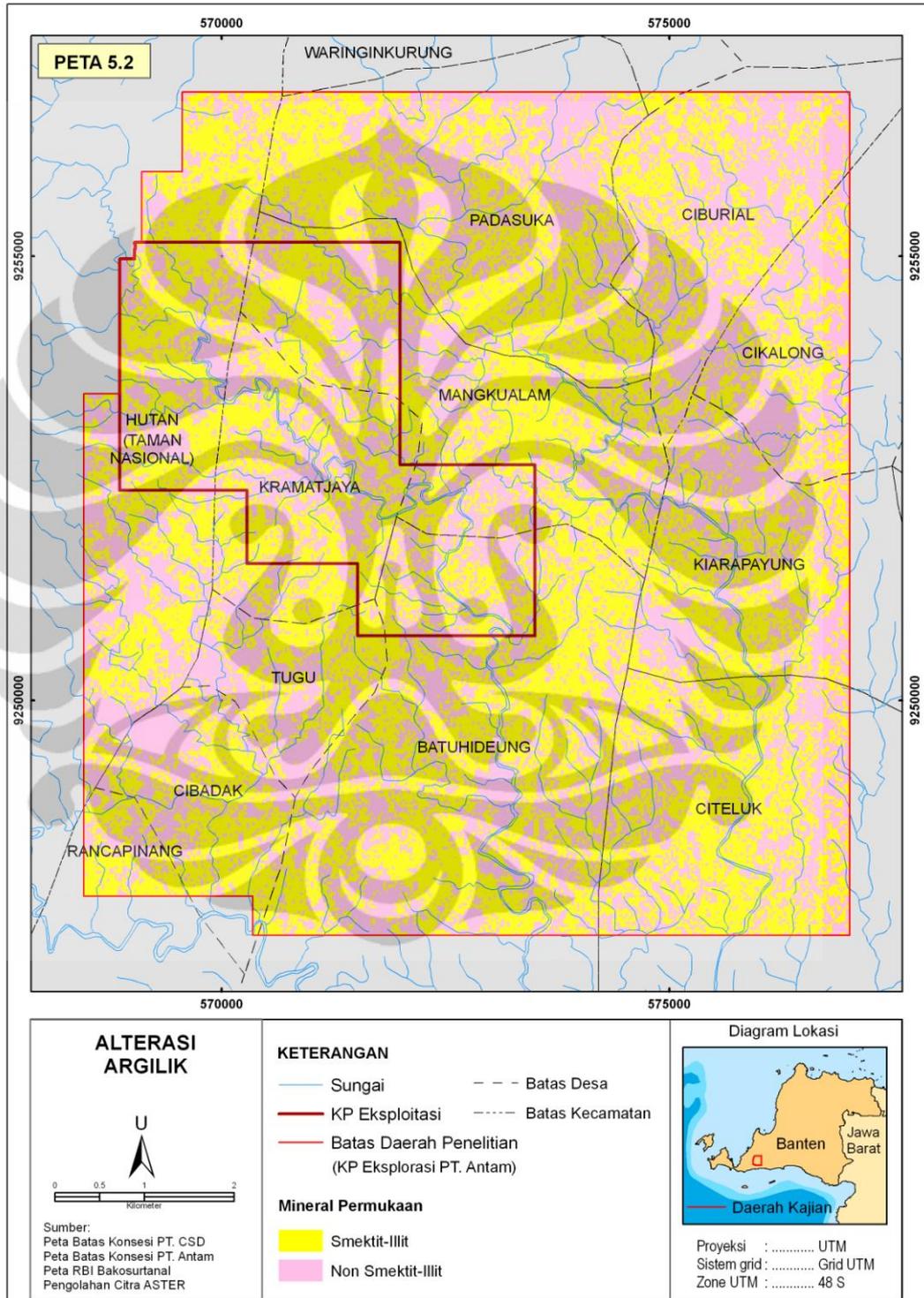
Tabel 5.4. Tingkat Akurasi Sebaran Mineral Smektit-Illit Melalui Metode DPCA

Alterasi	Mineral Permukaan	
	Smektit-Illit	Non Smektit-Illit
Argilik	247	20
Non Argilik	39	131
Total	286	151
<i>Overall Accuracy: 86 %</i>		
Khat = 1,86		

Sumber: Pengolahan data 2012

Berdasarkan tabel di atas, dapat diketahui bahwa tingkat akurasi sebaran mineral smektit-illit dengan metode DPCA adalah 86 persen, dengan Khat sebesar 1,86. *Overall accuracy* sebesar 86 persen menunjukkan bahwa pemetaan sebaran

mineral smektit-illit (alterasi argilik) dengan metode DPCA dapat diterima. Khat sebesar 1,86 menunjukkan bahwa dengan metode yang sama memiliki tingkat kepercayaan yang tinggi dalam memetakan sebaran mineral smektit-illit.



Peta 5.2. Sebaran Mineral Smektit-Illit (Alterasi Argilik)

5.2 Asosiasi Emas Epitermal

Pada bagian ini akan dipaparkan asosiasi faktor fisik yang meliputi litologi dan struktur geologi. Selain kedua faktor fisik tersebut di atas, ditampilkan juga asosiasi dengan mineral permukaan (zona alterasi) hasil pengolahan citra satelit. Deposit emas adalah titik-titik keberadaan urat kuarsa yang diketahui mengandung emas yang kemudian sehingga dijadikan *evidence* untuk melihat hubungan asosiasi dengan variabel terkait.

5.2.1 Asosiasi antara Litologi dengan Deposit Emas

Faktor litologi merupakan satu hal yang penting bagi pendugaan deposit mineral. Hal ini berkaitan dengan tingkat permeabilitas batuan induk yang merupakan faktor penunjang pada sistem hidrotermal. Terlebih lagi deposit emas di Cibaliung termasuk endapan epitermal sulfidasi rendah sehingga larutan hidrotermal yang bekerja bukan hanya air magmatik hasil pendinginan magma, tetapi juga ada pengaruh yang cukup tinggi dari air meteorik atau air hujan.

Asosiasi tiap jenis litologi terhadap deposit emas dapat dilihat pada Tabel 5.5 (kolom *contrast* atau C) dengan besar signifikansi pada kolom “Stud(C)”. Asosiasi masing-masing litologi terhadap deposit emas memperlihatkan signifikansi yang beragam, berkisar dari nilai negatif hingga positif. Dari Tabel 5.5 terlihat bahwa litologi yang berasosiasi positif terhadap deposit emas epitermal adalah andesit porfiritik, basalt, tuff kristal-ash dan tuff litik. Sedangkan litologi yang berasosiasi negatif terhadap jenis deposit yang sama adalah andesit afanitik, batuhamping, breksi andesit, breksi polimik dan endapan krikil-pasir kuarter.

Nilai signifikansi asosiasi positif pada tiap jenis litologi terlihat beragam, dari 2,42 hingga 14,40. Nilai signifikansi positif terkecil terdapat pada batuan basalt dan asosiasi terbesar terdapat pada batuan tuff kristal-ash. Berdasarkan nilai signifikansinya, asosiasi positif antara deposit emas terhadap jenis litologi dapat dibagi menjadi dua kelas, yaitu asosiasi positif tinggi dan asosiasi positif rendah. Asosiasi positif tinggi berada pada jenis batuan tuff, baik tuff kristal-ash maupun kristal-litik dengan nilai asosiasi masing-masing sebesar 14,40 dan 7,15. Asosiasi

positif rendah berada pada batuan andesit porfiritik dengan nilai asosiasi sebesar 3,75 dan batuan basalt dengan nilai asosiasi sebesar 2,42. Tingkat asosiasi tiap-tiap jenis litologi terhadap deposit emas secara spasial dapat dilihat pada Peta 5.3.

Tabel 5.5. Asosiasi antara Litologi dengan Deposit Emas

Litologi	W+	s(W+)	W-	s(W-)	Contrast(C)	s(C)	Stud(C)
Andesit Afanitik	-0,48	0,24	0,02	0,04	-0,50	0,24	-2,10
Andesit Porfiritik	0,30	0,09	-0,07	0,05	0,37	0,10	3,75
Basalt	0,19	0,09	-0,05	0,05	0,24	0,10	2,42
Batuhambing	-0,41	0,09	0,16	0,05	-0,56	0,10	-5,69
Breksi Andesit	-0,55	0,09	0,24	0,05	-0,79	0,10	-7,96
Breksi Polimik	-0,69	0,09	0,34	0,05	-1,02	0,10	-10,36
Endapat Krikil-pasir Kuarter	-0,70	0,09	0,35	0,05	-1,05	0,10	-10,65
Tuff Kristal-ash	0,52	0,04	-2,03	0,17	2,54	0,18	14,40
Tuff Litik	0,18	0,04	-3,03	0,45	3,21	0,45	7,15

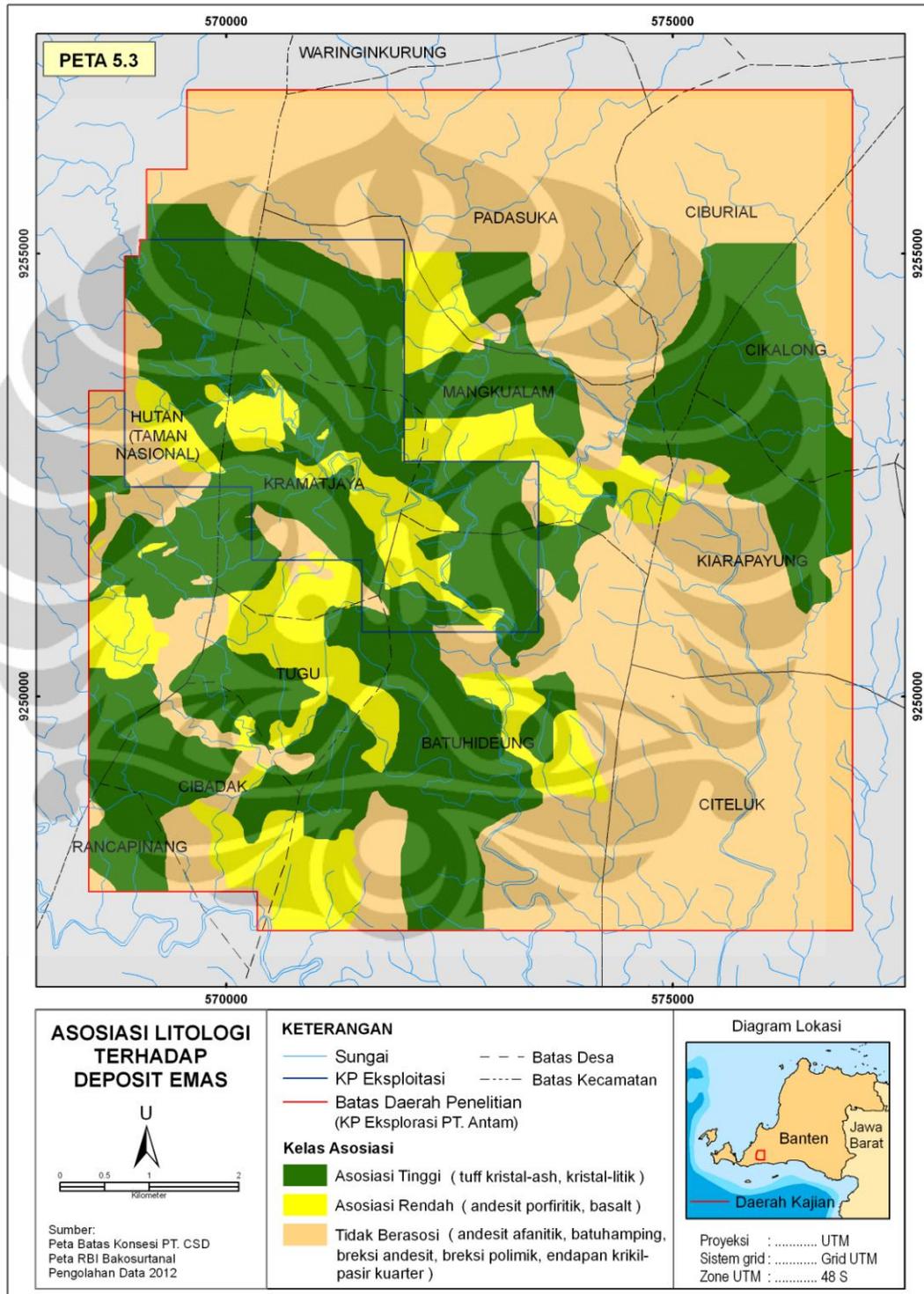
Sumber: Pengolahan Data 2012

Kembali merujuk pada Tabel 5.3, asosiasi positif tinggi berada di litologi tuff (tuff kristal-ash dan kristal-litik). Batuan tuff sendiri merupakan batuan gunungapi yang terbentuk dari suatu campuran fragmen-fragmen mineral batuan gunungapi dalam matrik debu gunungapi. Tuff terbentuk dari kombinasi debu, batuan dan fragmen mineral (piroklastik atau tephra) yang dilemparkan ke udara dan kemudian jatuh ke permukaan bumi sebagai suatu endapan campuran. Kebanyakan dari fragmen batuan cenderung merupakan batuan gunungapi yang terkonsolidasi dari hasil erupsi gunungapi.

Berdasarkan ciri-ciri di atas, dapat dikatakan bahwa batuan tuff memiliki permeabilitas tinggi sehingga sifat fisik inilah yang memungkinkan terbentuknya deposit emas lebih banyak dibanding batuan jenis lainnya yang memiliki permeabilitas lebih rendah.

Dalam sistem hidrotermal, permeabilitas batuan adalah sesuatu yang penting. Permeabilitas batuan merupakan salah satu syarat untuk terjadinya mineralisasi, yaitu sebagai zona lemah yang berfungsi sebagai saluran untuk lewatnya

larutan hidrotermal dan sebagai ruang-ruang untuk pengendapan larutan hidrotermal. Permeabilitas batuan juga penting untuk proses masuknya air meteorik kedalam sistem hidrotermal.



Peta 5.3. Asosiasi Litologi terhadap Deposit Emas

Larutan hidrotermal akan mencari batuan yang berpermeabilitas tinggi sebagai zona lemah untuk naik ke permukaan. Saat naik ke permukaan, batuan induk kemudian bereaksi dengan larutan kaya mineral ini sehingga terjadilah ubahan mineral dan mineralisasi. Larutan hidrotermal juga mencari zona-zona lemah, yang salah satunya berupa batuan berpermeabilitas tinggi sebagai ruang untuk mengendapkan larutan hidrotermal yang kaya mineral.

Dalam kaitannya dengan air meteorik pada sistem epitermal sulfidasi rendah, batuan berpermeabilitas tinggi sangat diperlukan. Pada daur hidrologi, air hujan yang tiba di permukaan bumi air hujan akan merembes ke dalam tanah melalui saluran pori-pori atau rongga-rongga di antara butir-butir batuan. Bila jumlah air hujan yang turun cukup deras, maka air tersebut akan mengisi rongga-rongga antar butiran sampai penuh atau jenuh. Kalau sudah tidak tertampung lagi, maka air hujan yang masih dipermukaan akan mengalir ke tempat yang lebih rendah. Semakin tinggi permeabilitas batuan, semakin besar pula air hujan yang menerobos turun ke tempat yang lebih dalam lagi sampai akhirnya dipanaskan oleh panas yang ada di dalam dan membentuk sistem hidrotermal.

Berkaitan dengan tingkat permeabilitas inilah kemudian bisa dipahami mengapa batuan basalt dan andesit porfiritik memiliki nilai asosiasi yang rendah dengan deposit emas. Batuan-batuan ini memiliki permeabilitas yang relatif rendah sehingga alterasi dan mineralisasi lebih sedikit terjadi. Walau demikian, alterasi dan mineralisasi masih mungkin terjadi pada jenis litologi ini melalui rekahan-rekahan yang mungkin terbentuk pada kedua jenis batuan beku ini.

5.2.2 Asosiasi antara Struktur Geologi dengan Deposit Emas

Penggunaan struktur geologi yang dalam penelitian ini berupa patahan sebagai variabel penduga deposit emas epitermal didasarkan atas teori bahwa patahan dan rekahan adalah zona yang dilalui oleh larutan hidrotermal yang mengalir menuju permukaan. Larutan hidrotermal yang melalui rekahan inilah yang kemudian bereaksi dengan batuan induk yang dilaluinya (*wall rocks*) sehingga terjadi reaksi kimia yang merubah mineral primer menjadi mineral ubahan (mineral alterasi). Larutan hidrotermal yang membawa mineral-mineral logam hasil pengkayaan dari

magma yang beraksi dengan *wall rocks* kemudian membentuk urat hidrotermal sebagai hasil dari proses *replacement deposits*.

Untuk mencari asosiasi antara struktur geologi dan deposit emas epitermal, dilakukan penarikan radius atau jangkauan dari struktur geologi. Dalam penelitian ini radius terhadap struktur geologi dibagi menjadi empat kelas, yaitu: 0 – 100 m, 100 – 200 m, 200- 300 m, 300 – 400 m dan 400-500 m.

Nilai signifikansi asosiasi tiap kelas radius ini dilihat dari nilai “Stud(C)” seperti pada Tabel 5.6. Asosiasi struktur geologi dan deposit emas melalui penarikan jarak terhadap struktur geologi memperlihatkan nilai yang beragam. Nilai signifikansi berkisar antara -0,49 hingga 18,46.

Dalam hubungannya dengan deposit emas, radius terhadap struktur geologi menunjukkan asosiasi positif dan asosiasi negatif. Asosiasi positif berada pada radius 0-40 m dari struktur geologi, sedangkan pada radius lebih dari 400 m, struktur geologi menunjukkan hubungan asosiasi negatif. Berdasarkan nilai signifikansinya, asosiasi positif terhadap radius struktur geologi dapat dibagi menjadi dua kelas, yaitu asosiasi positif tinggi dan asosiasi positif rendah. Asosiasi positif tinggi berada pada radius 0-100 m yang memiliki nilai signifikansi 18,46 dan pada radius 100-200 m dengan nilai 9,14. Asosiasi positif rendah berada pada radius 200-300 m yang memiliki nilai signifikansi 6,75 dan pada radius 300-400 m dengan nilai 4,19. Tingkat asosiasi tiap-tiap jenis radius patahan terhadap deposit emas secara spasial dapat dilihat pada Peta 5.4.

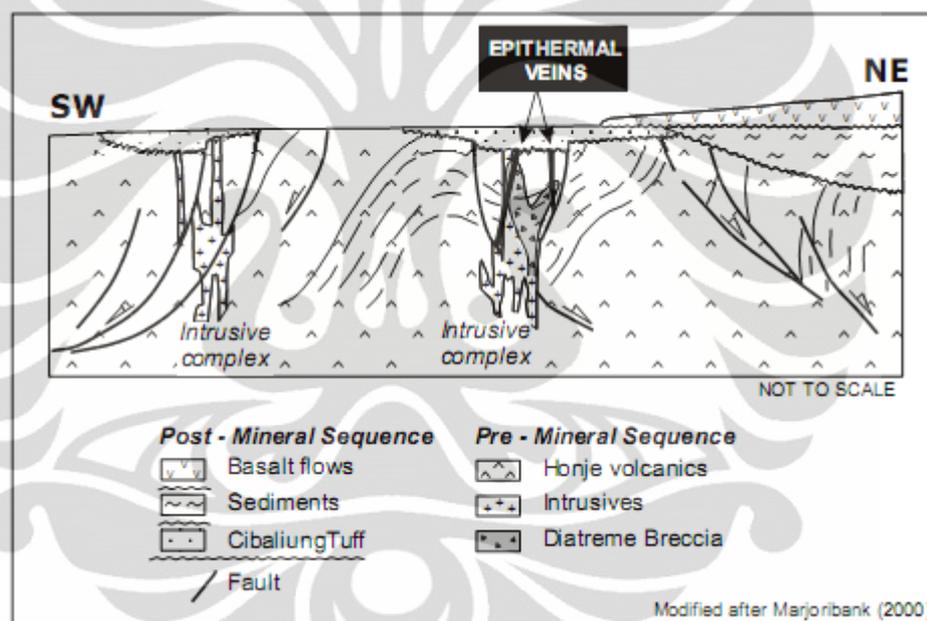
Tabel 5.6. Asosiasi antara Struktur Geologi dengan Deposit Emas

Jarak dari Patahan (m)	W+	s(W+)	W-	s(W-)	Contrast (C)	s(C)	Stud(C)
0-100	0,84	0,04	-2,18	0,16	3,02	0,16	18,46
100-200	0,41	0,04	-3,70	0,45	4,10	0,45	9,14
200-300	0,18	0,04	-3,21	0,50	3,39	0,50	6,75
300-400	0,06	0,04	-2,91	0,71	2,97	0,71	4,19
400-500	0,00	0,04	6,97	14,14	-6,97	14,14	-0,49

Sumber: Pengolahan Data 2012

Asosiasi positif yang mencapai jarak 400 m dari patahan. Jauhnya radius asosiasi dari patahan ini dimungkinkan karena kenyataan bahwa patahan itu (termasuk di Cibaliung) tidak tegak lurus terhadap permukaan, akan tetapi patahan membentuk sudut kemiringan sehingga arahnya diagonal.

Pada Gambar 5.3 terlihat bahwa patahan atau *fault* umumnya membentuk sudut terhadap permukaan tanah. Adanya kenyataan ini memungkinkan terjadinya deposit emas (urat kuarsa) yang jaraknya tidak harus berdekatan dengan patahan yang terindikasi di permukaan.



Gambar 5.3. Skema Geologi *Section* (Angeles, Prihatmoko dan Walker, 2002)

Dari Tabel 5.6 terlihat bahwa signifikansi semakin kecil seiring dengan meningkatnya jarak dari patahan. Asosiasi positif tergolong tinggi pada radius 0-200 m dan pada radius 200-400 nilai asosiasi positif tergolong rendah, dimana asosiasi positif tertinggi terjadi pada radius 0-100 m dan asosiasi positif terkecil berada pada radius 300-400 m.

Asosiasi tinggi yang mencapai radius 200 m dimungkinkan karena sistem hidrotermal yang terjadi di Cibaliung adalah sistem hidrotermal sulfidasi rendah yang juga mendapat pengaruh dari air meteorik atau air hujan. Adanya zona

rekahan pada struktur berupa patahan membantu air hujan berpenetrasi jauh ke dalam. Keberadaan struktur tersebut tidak sekedar membuka pori-pori atau rongga-rongga antar butiran menjadi lebih terbuka, bahkan lebih dari itu mereka menciptakan zona rekahan (*fracture zone*) yang cukup lebar dan memanjang secara vertikal atau hampir vertikal dimana air tanah dengan leluasa menerobos turun ke tempat yang lebih dalam lagi sampai akhirnya mencapai batuan panas (*hot rock*) dan terpanaskan. Melalui proses di atas, maka semakin dekat dengan zona rekahan pada patahan akan semakin banyak air meteorik yang terlibat dalam proses hidrotermal sehingga alterasi dan mineralisasi terjadi lebih masif.

Terlepas dari fungsi rekahan sebagai zona aliran larutan ataupun penetrasi air meteorik, zona rekahan pada patahan juga berfungsi sebagai salah satu ruang untuk pengendapan larutan hidrotermal. Mekanismenya sama seperti yang terjadi pada sistem hidrotermal pada umumnya, yakni larutan hidrotermal juga mencari zona zona lemah, yang salah satunya berupa rekahan ruang untuk mengendapkan larutan hidrotermal yang kaya mineral.

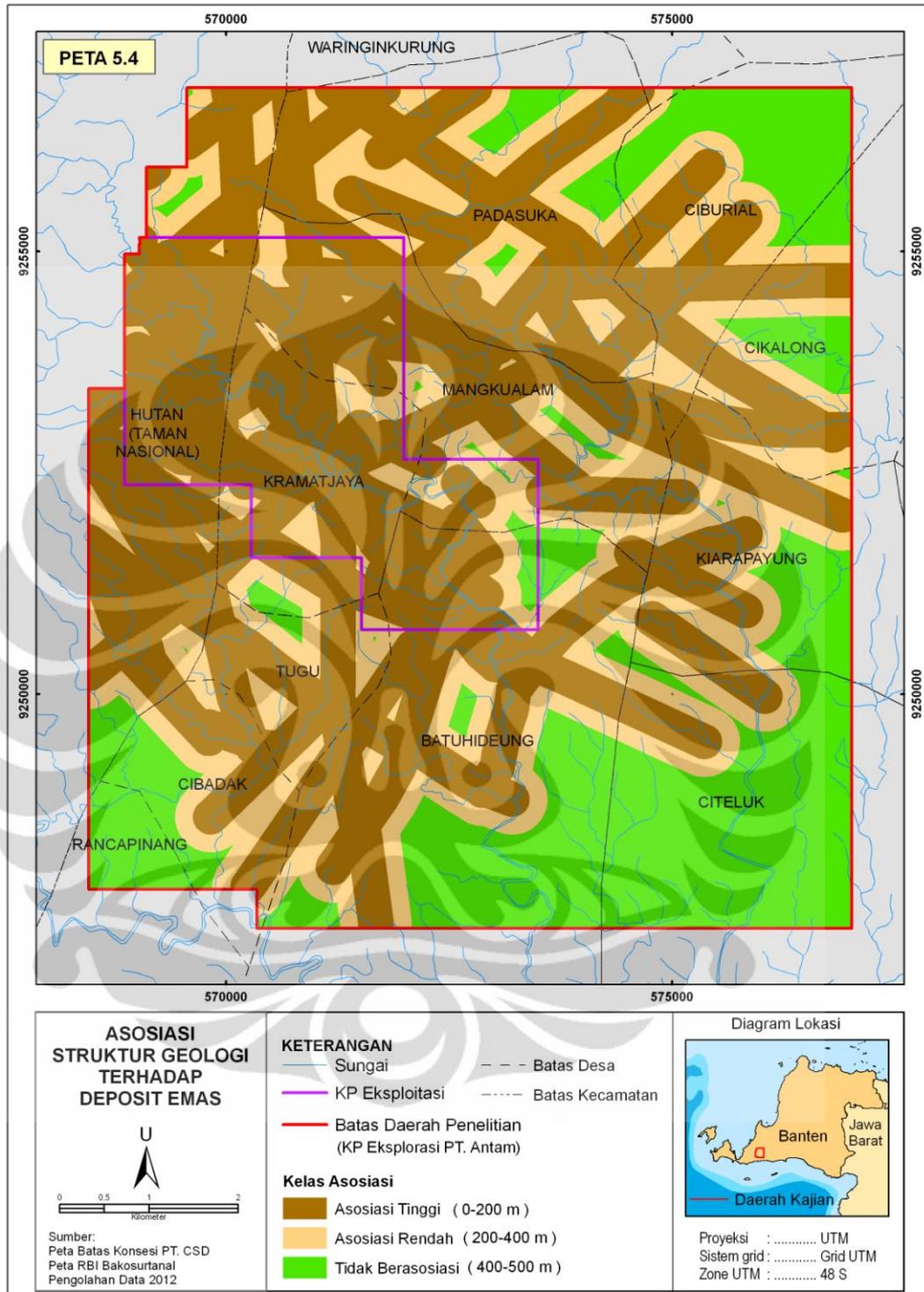
5.2.3 Asosiasi Zona Alterasi dengan Deposit Emas

Asosiasi antara zona alterasi dengan deposit emas ditunjukkan oleh Tabel 5.7 dan Tabel 5.8, Tabel 5.7 untuk alterasi propilitik (klorit) dan Tabel 5.8 untuk alterasi argilik (smektit-illit).

Tabel 5.7. Asosiasi antara Mineral Klorit (Alterasi Propilitik) dengan Deposit Emas

Mineral Permukaan	W+	s(W+)	W-	s(W-)	Contrast (C)	s(C)	Stud(C)
Klorit	0.04	0.10	-0.03	0.09	0.06	0.13	0.48
Non Klorit	0.00	0.07	8.20	14.14	-8.20	14.14	-0.58

Sumber: Pengolahan Data 2012



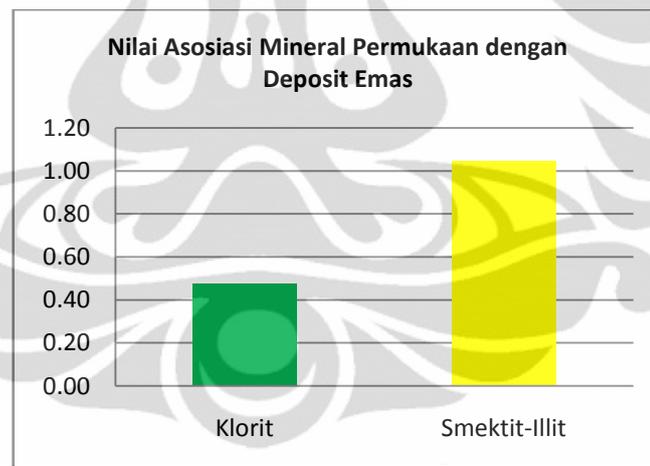
Peta 5.4. Asosiasi Struktur Geologi terhadap Deposit Emas

Tabel 5.8. Asosiasi antara Mineral Smektit-Illit (Alterasi Argilik) dengan Deposit Emas

Mineral Permukaan	W+	s(W+)	W-	s(W-)	Contrast (C)	s(C)	Stud(C)
Smektit-Illit	0.06	0.09	-0.08	0.10	0.14	0.14	1.05
Non Smektit-Illit	0.00	0.07	8.20	14.14	-8.20	14.14	-0.58

Sumber: Pengolahan Data 2012

Tabel 5,7 dan 5.8 menunjukkan bahwa mineral zona teralterasi (klorit dan smektit-illit) memiliki asosiasi dengan deposit emas. Area yang terdeteksi mengandung mineral klorit dan smektit-illit juga diketahui mengandung deposit emas. Jika kedua tabel itu dibandingkan, terlihat bahwa nilai asosiasi klorit lebih kecil daripada asosiasi smektit-illit. Perbandingan keduanya dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4. Nilai Asosiasi Mineral Permukaan dengan Deposit Emas

[Sumber: Pengolahan Data 2012]

Adanya hubungan ini mendukung bahwa areal yang mengalami alterasi merupakan indikasi adanya mineralisasi dari sistem hidrotermal. Ketika larutan hidrotermal naik ke permukaan melalui zona-zona patahan atau batuan dengan permeabilitas tinggi, larutan bersuhu panas ini mampu merubah batuan di sekitarnya, baik secara kimiawi maupun fisik batumannya. Hasil proses ini di

antaranya adalah mineral yang biasanya membentuk kumpulan mineral yang menunjukkan tipe alterasi tertentu.

5.3 Sebaran Potensi Deposit Emas Epitermal

Sebaran potensi deposit emas epitermal di daerah penelitian diperoleh dengan analisis spasial melalui metode *overlay (union)* dan *selecting attribute (query)*. Input untuk *overlay* meliputi variabel-variabel yang memiliki nilai asosiasi positif berdasarkan kalkulasi bobot melalui metode WofE dan sebaran mineral permukaan berdasarkan metode DPCA, yaitu:

- a. Jenis litologi, litologi yang berasosiasi positif dengan deposit emas epitermal adalah tuff kristal-ash, tuff litik, andesit porfiritik dan basalt.
- b. Jarak dari struktur geologi (patahan), asosiasi positif terhadap deposit emas ditunjukkan pada radius 0-400 m dari patahan.
- c. Sebaran mineral klorit atau smektit-illit.

Wilayah potensi dibagi menjadi tiga kelas, yaitu potensi tinggi, potensi sedang dan potensi rendah. Penentuan wilayah untuk masing-masing tingkat potensi ini dilakukan dengan teknik *selecting attribute (query)* dengan rincian masing-masing kelas potensi pada Tabel 5.9. Berdasarkan kriteria pada Tabel 5.9, didapatkan sebaran potensi deposit emas epitermal di daerah kajian, yang bisa dilihat pada Peta 5.5.

Tabel 5.9. Matriks Wilayah Potensi Emas Epitermal

Tingkat Potensi Emas Epitermal	Litologi	Jarak dari Patahan	Mineral Permukaan
Tinggi	tuff kristal-ash atau tuff litik	0-200	klorit atau smektit-illit
Sedang	tuff kristal-ash atau tuff litik	200-400	klorit atau smektit-illit
	andesit porfiritik atau basalt	0-200	
Rendah	andesit porfiritik atau basalt	200-400	klorit atau smektit-illit

Sumber: Pengolahan Data 2012

Pengujian dilakukan terhadap sebaran potensi deposit emas epitermal untuk melihat tingkat akurasi model wilayah potensi. Uji akurasi dilakukan dengan membandingkan piksel-piksel potensi deposit emas dengan titik bor yang ada di piksel-piksel tersebut. Data bor yang digunakan adalah data bor yang telah melalui tahapan analisis *assay* sehingga dapat diketahui keberadaan kandungan emas pada tiap-tiap titik bor.

Pada penelitian ini uji akurasi dilakukan terhadap 77 piksel. 72 piksel merupakan sampel pada wilayah kelas potensi tinggi dan lima piksel lainnya merupakan sampel pada wilayah kelas potensi sedang. Pemilihan titik piksel untuk akurasi didasarkan atas ketersediaan data, karena alasan inilah wilayah kelas potensi rendah tidak dilakukan pengujian. Akurasi wilayah potensi pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 5.10.

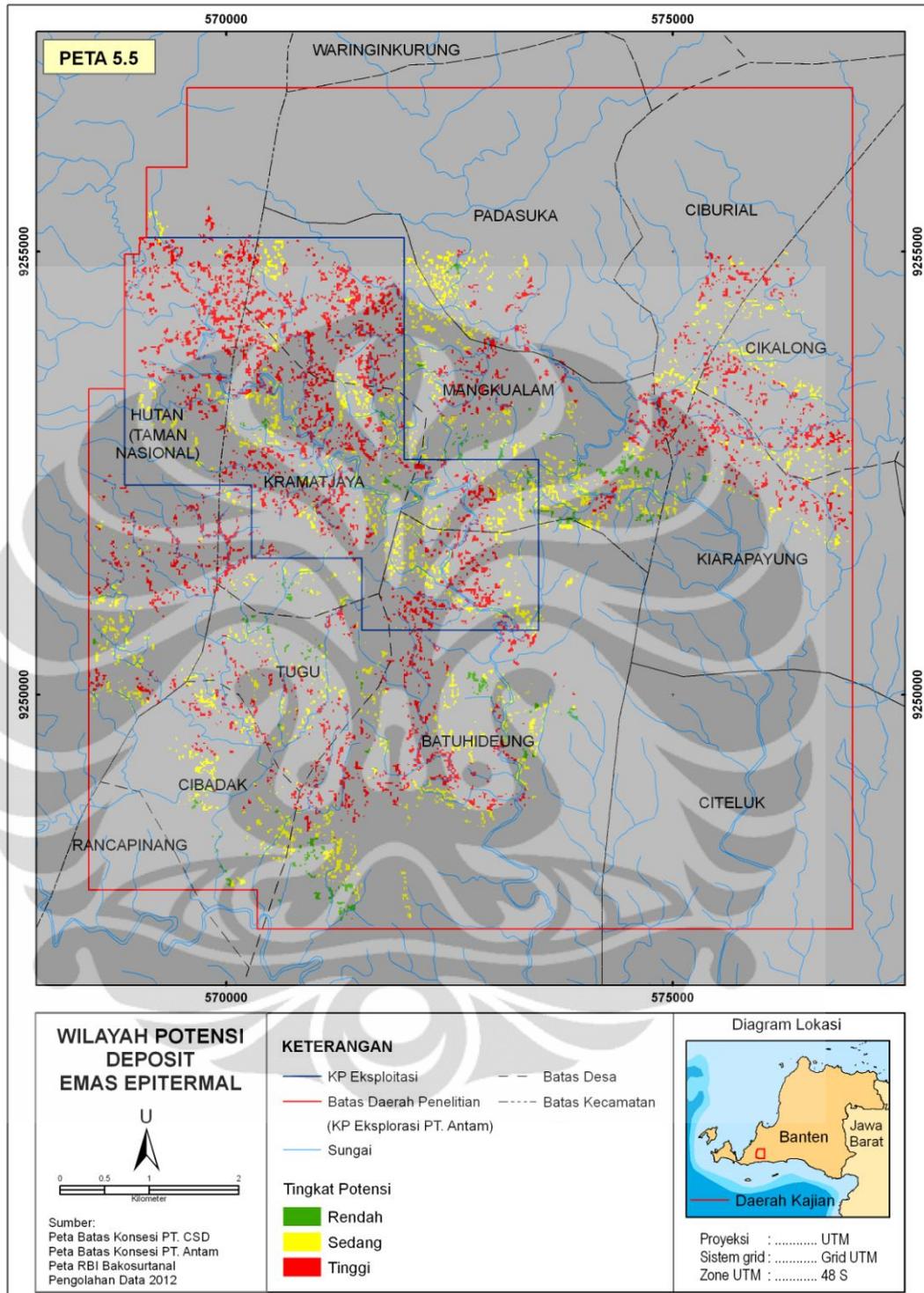
Tabel 5.10. Akurasi Model Wilayah Potensi

Kelas Potensi	Kandungan Emas di Titik Bor		Akurasi (%)
	Ya	Tidak	
Tinggi	67	5	93
Sedang	4	1	80
Rendah	-	-	-

Sumber: Pengolahan Data 2012

Tabel 5.10 menunjukkan bahwa semakin tinggi kelas potensinya maka akurasinya semakin tinggi. Kelas potensi ini bisa dijadikan sebagai acuan untuk eksplorasi lebih detail. Eksplorasi lebih lanjut sebaiknya diprioritaskan pada wilayah kelas potensi yang memiliki akurasi paling tinggi (wilayah potensi tinggi) baru kemudian pada wilayah kelas potensi yang akurasinya lebih rendah (wilayah potensi sedang dan baru kemudian wilayah potensi rendah).

Tabel 5.11 dan 5.12 merupakan tabel yang berisi informasi mengenai luasan wilayah tingkat potensi deposit emas epitermal di Cibaliung menurut desa dan menurut KP. Tabel 5.11 menunjukkan luasan menurut desa dan tabel 5.12 menunjukkan luasan menurut KP.



Peta 5.5. Sebaran Potensi Deposit Emas Epitermal

Berdasarkan Tabel 5.11, diketahui bahwa wilayah potensi rendah terdapat di Desa Batuhideung, Cibadak, Kiarapayung, Kramatraya, Mangkualam, Padasuka, Tugu dan areal yang menurut peta RBI Bakosurtanal merupakan kawasan hutan. Desa

Mangkualam, Batuhideung dan Kramatraya mencakup lebih dari 75 persen dari seluruh wilayah potensi rendah. Pada tingkat potensi rendah, Desa Mangkualam merupakan desa yang paling luas potensinya dengan kawasan hutan sebagai areal yang luas wilayah potensinya paling sedikit.

Tabel 5.11. Luas Wilayah Potensi Deposit Emas Menurut Desa

Nama Desa	Potensi Rendah		Potensi Sedang		Potensi Tinggi	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Batuhideung	8,76	33,49	43,23	22,85	46,37	18,29
Cibadak	1,32	5,05	12,71	6,72	4,83	1,90
Ciburial	-	-	4,81	2,54	9,30	3,67
Cikalong	-	-	9,63	5,09	13,52	5,33
Hutan	0,49	1,87	17,73	9,37	49,93	19,69
Kiarapayung	0,64	2,45	5,87	3,11	13,71	5,41
Kramatraya	2,92	11,17	29,68	15,69	45,77	18,05
Mangkualam	9,19	35,11	46,30	24,47	56,75	22,38
Padasuka	0,58	2,23	10,70	5,66	4,58	1,81
Tugu	2,26	8,64	8,50	4,50	8,81	3,47
Total	26,16	100	189,17	100	253,57	100

Sumber: Pengolahan Data 2012

Tabel 5.12. Luas Wilayah Potensi Deposit Emas Menurut KP

Tingkat Potensi	Luas Wilayah (Ha)	
	KP. Eksplorasi	KP. Eksploitasi
Rendah	22,88	3,28
Sedang	128,60	60,57
Tinggi	122,70	130,87

Sumber: Pengolahan Data 2012

Wilayah potensi rendah ini sebagian besar berada di KP. Eksplorasi, yaitu mencakup 22,88 Ha (87,47 persen) dan sisanya berada di KP. Eksploitasi (3,28 Ha atau 12,53 persen). Wilayah dengan tingkat potensi rendah di luar KP Eksploitasi berada di sebelah selatan dan timur areal yang saat ini sedang memproduksi emas. Di sebelah selatan, wilayah potensi ini terdapat di Desa Batuhideung, Cibadak, Tugu dan kawasan hutan dengan Desa Batuhideung

sebagai desa yang paling luas wilayah potensinya. Di sebelah timur wilayah potensi berada di Desa Padasuka, Mangkualam dan Kiarapayung dengan wilayah potensi terluas terletak di Desa Mangkualam.

Wilayah potensi emas epitermal dengan tingkat potensi sedang terdapat di Desa Batuhideung, Cibadak, Ciburial, Cikalong, Kiarapayung, Kramatraya, Mangkualam, Padasuka, Tugu dan areal yang menurut RBI Bakosurtanal merupakan kawasan hutan. Wilayah potensi ini memiliki proporsi sebaran yang hampir sama dengan wilayah tingkat potensi rendah. Yakni wilayah potensi sedang sebagian besar berada di tiga desa, yaitu Desa Mangkualam, Batuhideung dan Kramatraya namun dengan persentase luas yang lebih kecil, yaitu 63,01 persen dari seluruh luas potensi tingkat sedang.

Seperti halnya wilayah potensi rendah, sebagian besar wilayah potensi sedang berada di KP. Eksplorasi, namun dengan proporsi lebih kecil, yaitu meliputi 67,98 persen (128,60 Ha) dan sisanya berada di KP. Eksploitasi (60,57 Ha atau 32,02 persen). Wilayah dengan tingkat potensi rendah di luar KP Eksploitasi berada di sebelah selatan dan timur areal KP ini. Di sebelah selatan, wilayah potensi ini berada pada Desa Batuhideung, Cibadak, Tugu dan kawasan hutan dan di sebelah timur wilayah potensi ini berada di Desa Padasuka, Mangkualam, Ciburial, Cikalong, dan Kiarapayung. Di mana di sebelah selatan wilayah potensi ini paling luas berada di Desa Batuhideung dan di sebelah timur wilayah potensi ini paling luas berada di Desa Mangkualam.

Wilayah yang tingkat potensi emas epitermalnya tinggi terletak di Desa Batuhideung, Cibadak, Ciburial, Cikalong, Kiarapayung, Kramatraya, Mangkualam, Padasuka, Tugu dan areal yang menurut peta RBI Bakosurtanal merupakan kawasan hutan. Desa Mangkualam, Batuhideung, Kramatraya dan kawasan hutan mencakup mencakup lebih dari 75 persen dari seluruh wilayah potensi ini.

Berbeda dengan dua wilayah potensi sebelumnya, wilayah dengan tingkat potensi tinggi ini lebih besar terdapat di KP. Eksploitasi, yaitu mencakup 51,61 persen dan 48,39 persen sisanya terdapat di KP Eksplorasi dengan luasan masing-masing

130,87 Ha dan 122,70 Ha. Walau begitu, wilayah potensi tinggi di KP. Eksplorasi terdapat di sebelah selatan dan timur KP Eksploitasi. Wilayah potensi tinggi di sebelah selatan KP Eksploitasi terletak di Desa Batuhideung, Cibadak, Tugu dan kawasan hutan dengan luasan paling besar berada di Desa Batuhideung dan kawasan hutan. Di sebelah selatan KP. Eksploitasi, wilayah potensi tinggi berada di Desa Padasuka, Mangkualam, Ciburial, Cikalong, dan Kiarapayung. Potensi yang besar di bagian timur terdapat di Desa Mangkualam, Cikalong dan Kirapayung, sedangkan di Desa Padasuka dan Ciburial hanya meliputi luasan yang relatif lebih sempit

Dari paparan di atas dapat disimpulkan bahwa wilayah potensi emas epitermal di luar KP. Eksploitasi berada di sebelah selatan dan timur KP ini. Di sebelah selatan wilayah potensi berada di Desa Batuhideung, Tugu, Cibadak dan areal yang menurut peta RBI Bakosurtanal merupakan hutan. Di sebelah timur wilayah potensi berada di Desa Padasuka, Mangkualam, Ciburial, Cikalong dan Kirapayung.

Sebaran potensi deposit emas epitermal hasil dari penelitian ini sekiranya bisa menjadi salah satu masukan bagi pemegang otoritas pertambangan dalam rangka mencari deposit-deposit emas baru. Eksplorasi lebih detail yang berupa pengeboran atau *drilling* untuk mencari deposit emas sekiranya bisa difokuskan ke bagian timur atau selatan areal eksploitasi dengan tetap memperhatikan kelas wilayah potensinya, yaitu prioritas utama pada wilayah potensi tinggi kemudian potensi sedang dan terakhir pada potensi rendah. Di bagian selatan eksplorasi detail sekiranya di fokuskan di Desa Batuhideung dan kawasan hutan. Sedangkan di bagian timur fokus eksplorasi detail disarankan dilakukan di Desa Mangkualam, Cikalong dan Kirapayung.

BAB VI

KESIMPULAN

1. Untuk ketiga kelas potensi deposit emas epitermal, wilayah potensi berada di dalam dan luar Kuasa Pertambangan (KP) Eksploitasi. Di luar KP. Eksploitasi, ketiga kelas potensi berada di sebelah selatan dan timur KP ini. Di sebelah selatan, wilayah potensi tinggi, sedang dan rendah terdapat di Desa Batuhideung, Tugu, Cibadak dan areal yang menurut peta RBI Bakosurtanal merupakan kawasan hutan. Sedangkan di sebelah timur ketiga kelas wilayah potensi terletak di Desa Padasuka, Mangkualam, Ciburial, Cikalong, dan Kiarapayung.
2. Emas epitermal memiliki tingkat asosiasi tinggi dengan jenis litologi tuff kristal-ash, tuff litik dan jarak 0-200 dari patahan, sedangkan litologi andesit porfiritik dan basalt serta jarak 200-400 m dari struktur geologi memiliki asosiasi yang rendah. Asosiasi tinggi pada jenis batuan tuff dimungkinkan karena batuan tuff memiliki permeabilitas yang tinggi yang menunjang aliran larutan hidrotermal dan air meteorik serta pada zona ini merupakan zona pengendapan fluida kaya mineral. Jarak 0-200 meter dari patahan memiliki asosiasi tinggi karena menjadi jalur aliran hidrotermal dan menunjang proses perkolasi air meteorik pada sistem epitermal sulfidasi rendah seperti di Cibaliung.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, Euis. (2010). *Sejarah Pemikiran Ekonomi Islam*. Depok: Gramata Publishing.
- Angeles, Ciceron A, Sukmandaru Prihatmoko dan James S. Walker. (2001). *A Low-Sulphidation Epithermal Quartz-Adularia Gold-Silver Vein System at the Cibaliung Gold Project, Banten, Indonesia*. Proceedings-Yogyakarta Convention 2001 The 30th IAGI Annual Conference and Exhibition.
- Angeles, Ciceron A, Sukmandaru Prihatmoko dan James S. Walker. (2002). *Geology and Alteration-Mineralization Characteristics of the Cibaliung Epithermal Gold Deposit, Banten, Indonesia*. *Resource Geology*, 52, 4, xxx–xxx.
- Artadana, I Putu Edi. (2011). *Geologi, Alterasi dan Mineralisasi Daerah Nyerengseng dan Sekitarnya, Kecamatan Cisewu, Kabupaten Garut, Provinsi Jawa Barat*. Yogyakarta: Skripsi Jurusan Teknik Geologi Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”.
- Asri, Agnes Mei Sita Santi. (2011). *Geologi dan Kontrol Struktur terhadap Mineralisasi Daerah Cimalang dan Sekitarnya Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor Provinsi Jawa Barat*. Yogyakarta: Skripsi Program Studi Geologi Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”.
- Bateman, A.M. (1981). *Mineral Deposit 3rd edition*. New York: Jhon Wiley and Sons.
- Boloki, Mohamad dan Rashed Poormirzaee. (2009). *Using ASTER Image Processing for Hydrothermal Alteration and Key Alteration Minerals Mapping in Siyahrud Area, Iran*. *International Journal of Geology*. 3, 2.
- Bonham-Carter, G.F., Agterberg, F.P. dan Wright, D.F. (1989). *Weights of Evidence Modelling: a New Approach to Mapping Mineral Potential; in Statistical Application in the Earth Sciences*, ed. F.P. Agterberg dan G.F. Bohnam-Carter; Geological Survey of Canada, Paper 89-9, p. 171-183.
- Carranza, E.J.M., Mangaoang, J.C. dan Hale, M. (1999). *Application of mineral exploration models and GIS to generate mineral potential maps as input for optimum land-use planning in the Philippines*. *Natural Resources Research*, 8, 165-173.
- Carranza, E.J.M., dan Hale, M. (2000). *Geologically Constrained Probabilistic Mapping of Gold Potential, Baguio District, Philippines*. The Netherland: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, Delft.
- Carranza, E.J.M. dan Hale, M. (2001a). *Mineral imaging with Landsat TM data for hydrothermal alteration mapping*. *International Journal of Remote Sensing*.

- Carranza, E.J.M. dan Hale, M. (2001b). *Spatial association of mineral occurrences and curvi-linear geological features*. Mathematical Geology.
- Corbett, G.J & Leach, T.M. (1997). *Southwest Pasific Rim Gold / Copper System: Structure, Alteration and Mineralitiation*, A workshop presented for the Society of Eksplorasi Geochemist, Townsville.
- Diantoro, Yimi. (2010). *Emas: Investasi dan Pengolahannya*. Jakarta: Penerbit Gramedia Pustaka Utama.
- Galvao, Lenio Soares, Raimundo Almeida-Filho, Icaro Vitorello. (2005). *Spectral Discrimination of Hydrothermally Altered Materials using ASTER Short-Wave Infrareads Band: Evaluation in a Tropical Savannah Environment*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 7, 107-114.
- Gozzard, J.R. (2006). *Image Processing of ASTER Multispectral Data*. Australia: Geological Survey of Western Australia.
- Guilbert, G.M & Park, C.F. (1986). *The Geology of Ore Deposits*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Harijoko, Agung, Yukiko Ohbuchi, Yoshinobu Motomura, Akira Imai dan Koichiro Watanabe. (2007). *Characteristics of the Cibaliung Gold Deposit: Miocene Low-Sulfidation-Type Epithermal Gold Deposit in Western Java, Indonesia*. Resource Geology, 57, 114-123.
- Hilman, Prima Muharam., (2007). *Aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk Pemetaan Potensi Mineralisasi Emas Epitermal di Pulau Flores, Nusa Tenggara Timur, Indonesia*. Pusat Sumberdaya Geologi-ESDM.
- Jensen, John R. (2000). *Remote Sensing of the Environment an Earth Resource Perspective*. USA: Prentice Hall.
- Juliawan, Nixon, Denni Widhiyatna dan Junizar Jatim. (2005). *Pendataan Penyebaran Unsur Merkuri pada Wilayah Pertambangan Cibaliung, Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten*. Hasil Kegiatan Subdit Konservasi. Kementerian ESDM.
- Kujjo, Cosmas Pitia. (2010). *Application of Remote Sensing For Gold Exploration in the Nuba Mountains, Sudan*. Thesis of Graduate Collage of Bowling Green.
- Kurniawan, Andi dan Hartono. (2010). *Karakteristik Mineralisasi Permukaan Vein Cikoneng Daerah Cibaliung – Banten*. Proceedings PIT IAGI Lombok The 39th IAGI Annual Convention and Exhibition.
- Lillesand, Thomas M. dan Ralph W. Kieffer. (1994). *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York: John Willey & Sons.
- Lindgren, W. (1933). *Mineral Deposit*. USA: McGraw-Hill Book Company, Inc.

- MacKenzie, D.J. dan Craw, D. (2010). *Structural controls on hydrothe White River area, Yukon*. In: Yukon Exploration and Geology.
- Muslim, Hendry Drajat. (2008). *Penerapan Metode Fuzzy Logic dalam Pemetaan Potensi Mineralisasi Emas Epitermal di Kabupaten Sukabumi Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG)*. Bandung: Tesis Institut Teknologi Bandung.
- Pannekoek, A.J. (1949). *Outline of The Geomorpholgy of Java* (Budio Basri, Penerjemah.). Haarlem: Dinas Survei Geologi.
- Parington, Gregor Alan. (2000). *Mineral Exploration in the Drummond Basin North Queensland, Using Spatial Analysis in a GIS*. The 12th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Center. University of Otago, Dunedin, New Zealand.
- Peter, Jan M., Jeff Harris, Lori Wickert, H. Peter White, Matthew Maloley, Donald James, Benoit Rivard dan David Coulter. (2011). *Airborne Hyperspectral Remote Sensing For Northern Mineral Exploration: Preliminary Result*. Nunavut: Nunavut Mining Symposium Iqaluit.
- Pour, Amin Beiranvndn dan Mazlan Hashim. (2011). *Spectral Transportation of ASTER Data and the Discrimination of Hydrothermal Alteration Minerals in a Semi-Arid Region, SE Iran*. International Journal of the Physical Sciences, 6(8), 2037-2059.
- Prahasta, Eddy. (2007). *Sistem Informasi Geografis: Tutorial ArcView*. Bandung: Penerbit Informatika.
- Primanda, Alam. (2008). *Sebaran Potensi Deposit Nikel Laterit di Sorowako, Sulawesi Selatan (Studi Kasus Areal Eksplorasi Tambang PT. Internasional Nickel Indonesia, Tbk)*. Depok: Skripsi Departeman Geografi-FMIPA UI
- Purwadhi, F.Sri. (2001). *Interpretasi Citra Digital*. Jakarta: Gramedia Press.
- Rajesh, H.M. (2004). *Application of Remote Sensing and GIS in Mineral Resource Mapping - An Overview*. Australia: University of Queensland.
- Rigol-Sanchez, J.P. (2003). *Artificial neural networks as a tool for mineral potential mapping with GIS*. Int. J. Remote Sensing, 24, 5, 1151-1156.
- Robert F., Brommecker R., Bourne B.T., Dobak P.J., McEwan C.J., Rowe R.R. dan Zhou, X. (2007). *Models and Exploration Methods For Major Gold Deposit Types*. Proceeding of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration, p. 691-711.
- Rojas, S.A. (2003). *Predictive Mapping of Massive Sulphide Potential in The Western Part of The Escambray Terrain, Cuba*. Netherland: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede.

- Spatz, David M. (1996). *Remote Sensing Strategies in Mineral Exploration and Development: The Precious Metal and Porphyry Deposit Models*. Vienna: International Archives Photogrammetry and Remote Sensing. 31, Part B7.
- Sudana, D., dan Santosa, S. (1992). *Geology of the Cikarang Quadrangle, Java*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sugeng. (2005). *Kajian Analisis Kelurusan Struktur dengan Citra Landsat Digital untuk Eksplorasi Mineralisasi Emas di Daerah Bayah, Kabupaten Lebak, Jawa Barat*. Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN XIV.
- Suharto, R.Simpwee. (2000). *Hasil Eksplorasi Mineral Logam di Jalur Busur Magmatik Sunda-Banda*. Kolokium Hasil Kegiatan Lapangan EDSM.
- Sukandarrumudi. (2007). *Geologi Mineral Logam*. Yogyakarta: UGM Press.
- Sumardi, Edy. (2009). Tinjauan Emas Epitermal pada Lingkungan Vulkanik. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 4, 2.
- Surip, Noraini, Ab. Halim Hamzah, Mohammad Roston Zakaria, Azlikamil Napih dan Jasmi Ab.Talib. (2007). *Mapping of Gold in Densely Vegetated Area Using Remote Sensing Techniques in Pahang, Malaysia*.
- Swalf, Patriacs, Alvaro Penteado Crosta dan Carlos Roberto de Souza Filho. (2003). *Remote Sensing Signature of the Morro do Ouro Gold Deposit, Minas Gerais, Brazil, Using Reflectance Spectrometry: Application to Mineral Exploration Spaceborne Multispectral Sensors*. *Revista Brasileira de Geociencias*, 33.
- Tampubolon, Armin. (2006). *Ekplorasi Emas di Kabupaten Kerinci Provinsi Jambi. Proceeding Pemaparan Hasil-hasil Kegiatan Lapangan dan Non Lapangan*, Pusat Sumberdaya Geologi.
- Taranik, Dan. (2009). *Remote Sensing for Mineral Exploration for the Irish Association for Economic Geology and the Joly Geological Society*. Dublin: Trinity Collage.
- Tiwari, P.S., A.K. Send dan R.D. Garg. (2011). *Application of DPCA Technique in Khetri Copper Belt, India for Alteration Zones*. *Asian Journal of Earth Sciences*, 4, 9, 54-59.
- Torres, Carlos A. (2007). *Mineral Exploration Using GIS and Processed Aster Images*. Advance GIS EES 6513. University of Texas at San Antonio.
- Van Bemmelen, R. W. (1949). *The Geology of Indonesia, V.IA*. The Hague: Martinus Nijhoff.
- White, N.C. dan Hedenquest, J.W. (1995). *Epithermal Gold Deposits Style Characteristics and Exploration*. A workshop presented for the Society of Economic Geologist.

Williams, Patrick J, Mark D, Barton, David A. Johnson, Lluís Fontbote, Antonio de Haller, Geordie Mark, Nicholas H.S. Oliver dan Rober Marschik. (2005). *Iron Oxide Copper-Gold Deposits: Geology, Space-Time Distribution, and Possible Modes of Origin*. Economic Geology 100th Anniversary, pp. 371-405.

Zeinelabdein, Elsayed. (2002). *Experience in Using Remote Sensing for Mineral Prospecting*. Faculty of Petroleum and Minerals. Sudan: Alneelain University, Khartoum.

